
TUGAS AKHIR - MN 141581

**STUDI PENGEMBANGAN DESAIN KAPAL FRIGATE
JENIS MRLF SEBAGAI INFRASTRUKTUR
PERTAHANAN LAUT DI INDONESIA KHUSUSNYA
WILAYAH PERAIRAN NATUNA**

Arya Javendra Satriananda

N.R.P. 4111 100 056

Dosen Pembimbing

Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.

Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2015



FINAL PROJECT - MN 141581

**DESIGN STUDY OF MULTI ROLE LIGHT FRIGATE
(MRLF) as SEA DEFENSE INFRASTRUCTURE
ESPECIALLY NATUNA WATERS**

Arya Javendra Satriananda
N.R.P. 4111 100 056

Supervisor
Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.

Departemen of Naval Architecture & Shipbuilding Engineering
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2015

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PENGEMBANGAN DESAIN KAPAL *FRIGATE* JENIS MRLF SEBAGAI INFRASTRUKTUR PERTAHANAN LAUT DI INDONESIA KHUSUSNYA WILAYAH PERAIRAN NATUNA

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan - Desain Kapal
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ARYA JAVENDRA SATRIANANDA
NRP. 4111 100 056

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing :

Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.

NIP. 19601202 198701 1 001

SURABAYA, 5 Mei 2015

LEMBAR REVISI

STUDI PENGEMBANGAN DESAIN KAPAL FRIGATE JENIS MRLF SEBAGAI INFRASTRUKTUR PERTAHANAN LAUT INDONESIA KHUSUSNYA WILAYAH PERAIRAN NATUNA

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir

Tanggal 21 April 2015

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Desain Kapal

Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ARYA JAVENDRA SATRIANANDA

NRP. 4111 100 056

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

Ir. Asjhar Imron, M.Sc, MSE., PED.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D.

SURABAYA, 5 Mei 2015

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin. Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, karena rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“STUDI PENGEMBANGAN DESAIN KAPAL FRIGATE JENIS MR-LF SEBAGAI INFRASTRUKTUR PERTAHANAN LAUT DI INDONESIA KHUSUSNYA WILAYAH PERAIRAN NATUNA”** dengan baik. Tidak lupa juga shalawat dan salam penulis curahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita menuju alam yang penuh ilmu pengetahuan.

1. Bapak Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, ilmu, untuk membimbing penulis serta memberikan arahan dan masukan selama pengerjaan Tugas Akhir.
2. Bapak Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, M.Sc. selaku dosen wali penulis selama menjalani perkuliahan di jurusan teknik perkapalan.
3. Bapak Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan.
4. Mama dan Papa yang selalu senantiasa berdoa dan mendukung penulis dalam menyusun Tugas Akhir ini. *“you’re my everyday heroes, I love you all”*
5. Clara Yunita, Fahrizal Eka Satriawan, Elip Supriyanto selaku teman seperjuangan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini. *“fight together and win together guys!!”*
6. Alfi Hidayat, M. Fyan Dinggi, Vinesia Annisa, Trifajar Meinanda, Nabel Mufti, Rizki Yanuar, Syahadi Syahputra dan teman-teman penghuni laboratorium perancangan kapal yang senantiasa menemani penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir. *“without you, my work is impossible”*
7. Segenap keluarga besar P-51 CENTERLINE, terima kasih atas dukungan tak terhingganya. *“we are family, once and for eternity”*
8. Dan semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Harapan penulis semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta kelak ada usaha untuk menyempurnakan Tugas Akhir ini.

STUDI PENGEMBANGAN DESAIN KAPAL FRIGATE JENIS MR-LF SEBAGAI INFRASTRUKTUR PERTAHANAN LAUT DI INDONESIA KHUSUSNYA WILAYAH PERAIRAN NATUNA

Nama : Arya Javendra Satriananda
NRP : 4111 100 056
Jurusan : Teknik Perkapalan
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Perairan Natuna merupakan perairan strategis yang dimiliki oleh NKRI. Namun keberadaannya yang strategis juga menjadi tantangan bagi negara untuk menjaga dan memanfaatkan kekayaan alam disekitarnya. Terlebih lagi dengan maraknya isu-isu panas mengenai perbatasan di sekitar Laut Cina Selatan tentu menjadi hentakan yang besar sebagai titik balik usaha negara kita untuk meningkatkan keamanan dan pertahanan di daerah-daerah strategis seperti perairan Natuna. Atas dasar inilah maka penelitian mengenai rancang bangun pertahanan laut dilakukan. Sebuah ide muncul yaitu dengan melakukan proses desain kapal yang mampu berperan baik sebagai pengaman maupun penegak keamanan terutama di daerah perairan Natuna. Tidak hanya sebagai penjaga melainkan mampu menghadapi pertempuran yang mungkin terjadi apabila konflik mencuat diantara perbatasan. Adalah *Multi-Role Light Frigate* yaitu sebuah kapal dengan tipe *frigate* yang menjadi fokus penelitian. Pemilihan jenis kapal ini tentu dengan berbagai macam pertimbangan seperti misi/penugasan kapal, performa kapal, persenjataan dan sistem pendukung bahkan analisa rute dan fasilitas pendukung disekitar perairan Natuna. Setelah dilakukan serangkaian proses desain maka didapatkan ukuran kapal yang sesuai untuk perairan Natuna yaitu dengan Panjang = 96.06 m, Lebar = 12.01 m, Tinggi = 6.74 m dan Sarat = 4.05 m. Dari segi performa, kapal ini mampu melaju hingga kecepatan 30 knot serta memiliki daya jelajah selama 30 hari penuh. Hasil dari proses desain ini juga dilengkapi dengan Rencana Garis dan Rencana Umum yang terlampir.

Kata kunci: *Multi-Role Light Frigate*, Perairan Natuna, Pengamanan Laut

DESIGN STUDY OF MULTI-ROLE LIGHT FRIGATE (MRLF) as SEA DEFENSE INFRASTRUCTURE ESPECIALLY NATUNA WATERS

Name : Arya Javendra Satriananda
NRP : 4111 100 056
Departement : Naval Architecture and Ship Building
Supervisor : Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

Natuna waters are strategic waters owned by the National Republic of Indonesia. However strategic presence is also a challenge for the country to maintain and utilize the natural resources around them. Moreover, with the rise of hot issues concerning border conflict around the South China Sea would be a big turning point in our country's efforts to improve security and defense in strategic areas such as the Natuna Waters. For this reason, the research on the design of sea defense is performed. An idea is emerged, which is to do the designing process of the ships which capable in acting as a safety or security enforcement, especially in the area around Natuna Waters. Not only as a guard, but was able to face the battle that may occur when conflicts arose between the border. It is Multi-Role Light Frigate, a frigate-type ship which became the main focus research. The selection of this type of ship course with a variety of considerations such as mission/assignment, ship's performance, weapons and support systems even analysis and supporting facilities around the Natuna Waters. As a result after doing a bunch of design process, a vessel that suitable for Natuna Water was obtained, with the main dimensions of the $L = 96.06\text{ m}$, $B = 12.01\text{ m}$, $H = 6.74\text{ m}$ and $T = 4.05\text{ m}$. In terms of performance, the ship is capable of driving up to a speed of 30 knots and has a endurance for a full 30 days. The design result such as Lines Plan and General Arrangement is attached at the end of this report.

Keywords: Multi Role Light Frigate, Natuna Waters, Sea Defense

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| LEMBAR PENGESAHAN | v |
| LEMBAR REVISI..... | vii |
| KATA PENGANTAR | ix |
| ABSTRAK..... | xi |
| <i>ABSTRACT</i> | xiii |
| DAFTAR ISI | xv |
| DAFTAR GAMBAR..... | 1 |
| DAFTAR TABEL | 3 |
| BAB 1.PENDAHULUAN..... | 5 |
| 1.1 Gambaran Umum | 5 |
| 1.2 Latar Belakang | 6 |
| 1.3 Rumusan Masalah | 8 |
| 1.4 Batasan Masalah..... | 8 |
| 1.5 Tujuan..... | 8 |
| 1.6 Manfaat..... | 9 |
| 1.7 Sistematika Penulisan..... | 9 |
| BAB 2.TINJAUAN PUSTAKA..... | 11 |
| 2.1 Pendahuluan | 11 |
| 2.2 Kapal Frigate | 12 |
| 2.2.1 <i>Multi-Role Light Frigate</i> | 13 |
| 2.2.2 Perbedaan Kapal <i>Corvette</i> dan <i>Light Frigate</i> | 14 |
| 2.2.3 Persenjataan Pada Kapal <i>Frigate</i> | 15 |
| 2.3 Klasifikasi Desain..... | 17 |
| 2.4 Tahapan Desain | 17 |
| 2.4.1 <i>Concept design</i> | 17 |
| 2.4.2 <i>Preliminary Design</i> | 18 |
| 2.4.3 <i>Contract Design</i> | 18 |
| 2.4.4 <i>Detail Design</i> | 19 |
| 2.5 Metode Umum Desain Kapal | 19 |

| | | |
|---|--|----|
| 2.5.1 | <i>Parent Design Approach</i> | 19 |
| 2.5.2 | <i>Trend Curve Approach</i> | 20 |
| 2.5.3 | <i>Iteratif Design Approach</i> | 20 |
| 2.5.4 | <i>Parametric Design Approach</i> | 20 |
| 2.5.5 | <i>Optimation Design Approach</i> | 21 |
| 2.6 | Tinjauan Teknis Desain Kapal <i>Multi-Role Light Frigate</i> | 21 |
| 2.6.1 | Penentuan Ukuran Utama Dasar | 21 |
| 2.6.2 | Perhitungan Hambatan Kapal | 22 |
| 2.6.3 | Perhitungan Daya Mesin | 23 |
| 2.6.4 | Perhitungan Berat Baja Kapal | 23 |
| 2.6.5 | Perhitungan Trim dan Stabilitas | 24 |
| 2.6.6 | Perhitungan <i>Freeboard</i> | 26 |
| BAB 3. TINJAUAN DAERAH | | 27 |
| 3.1 | Pendahuluan | 27 |
| 3.2 | Daerah Pelayaran Kapal | 28 |
| 3.3 | Kondisi Perairan Natuna | 28 |
| 3.4 | Rute Operasi/Misi <i>Multi-Role Light Frigate</i> | 29 |
| BAB 4. METODOLOGI PENELITIAN | | 33 |
| 4.1 | Pendahuluan | 33 |
| 4.2 | Diagram Alir Penelitian | 34 |
| 4.3 | Langkah Pengerjaan | 35 |
| 4.3.1 | Pengumpulan Data dan Informasi | 35 |
| 4.3.2 | Studi Literatur | 35 |
| 4.3.3 | Analisa Teknis Data Pendukung | 35 |
| 4.3.4 | Penentuan Ukuran Utama Awal | 36 |
| 4.3.5 | Penentuan Parameter dan Batasan Desain | 36 |
| 4.3.6 | Perhitungan Karakteristik Kapal | 36 |
| 4.3.7 | Perhitungan Optimasi Ukuran Utama | 36 |
| 4.3.8 | Pembuatan Desain Rencana Garis dan Rencana Umum <i>Frigate</i> | 37 |
| 4.3.9 | Pemeriksaan Kondisi Khusus Kapal saat Operasi | 37 |
| 4.3.10 | Kesimpulan dan Saran | 38 |
| BAB 5. DESAIN <i>MULTI-ROLE LIGHT FRIGATE</i> | | 39 |
| 5.1 | Pendahuluan | 39 |

| | | |
|---------------------|---|----|
| 5.2 | Penentuan <i>Payload</i> Berdasarkan Misi/Penugasan Kapal | 40 |
| 5.3 | Penentuan Ukuran Utama Awal | 40 |
| 5.3.1 | Penentuan Batasan..... | 41 |
| 5.3.2 | Penentuan Parameter Optimasi | 43 |
| 5.3.3 | Penentuan Fungsi Objektif | 43 |
| 5.4 | Penerapan Model Optimasi <i>Frigate</i> Menggunakan <i>Software Excel</i> | 43 |
| 5.4.1 | Pembuatan Batasan | 44 |
| 5.4.2 | Perhitungan Hambatan <i>Frigate</i> | 44 |
| 5.4.3 | Perhitungan Permesinan <i>Frigate</i> | 44 |
| 5.4.4 | Perhitungan Berat Baja <i>Frigate</i> | 45 |
| 5.4.5 | Perhitungan Peralatan dan Perlengkapan <i>Frigate</i> | 45 |
| 5.4.6 | Perhitungan <i>Crew and Consumables Frigate</i> | 45 |
| 5.4.7 | Perencanaan <i>Tank Arrangement</i> | 46 |
| 5.4.8 | Perencanaan <i>Weaponary Systems and Weight Calculation</i> | 46 |
| 5.4.9 | Perhitungan Berat Total <i>Frigate</i> | 46 |
| 5.4.10 | Perhitungan Titik Berat <i>Frigate</i> | 47 |
| 5.4.11 | Perhitungan Trim <i>Frigate</i> | 48 |
| 5.4.12 | Perhitungan Stabilitas <i>Frigate</i> | 48 |
| 5.4.13 | Perhitungan <i>Freeboard Frigate</i> | 49 |
| 5.4.14 | Running Model Iterasi <i>Solver Frigate</i> | 49 |
| 5.5 | Pembuatan Rencana Garis dan Rencana Umum <i>Frigate</i> | 51 |
| 5.5.1 | Rencana Garis <i>Frigate</i> | 52 |
| 5.5.2 | Rencana Umum <i>Frigate</i> | 59 |
| 5.6 | Pemeriksaan Kondisi Kapal (Validasi Model) | 63 |
| BAB 6.PENUTUP | | 69 |
| 6.1 | Pendahuluan | 69 |
| 6.2 | Kesimpulan..... | 70 |
| 6.3 | Saran..... | 70 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | | 71 |
| LAMPIRAN | | 73 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2-1 Tabel harga 1+k2..... | 22 |
| Tabel 3-1 Tabel kondisi perairan Natuna | 29 |
| Tabel 5-1 Ukuran Utama Awal | 40 |
| Tabel 5-2 Perhitungan Berat Total | 46 |
| Tabel 5-3 Perhitungan Titik Berat Total..... | 47 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1-1 Wilayah Laut Cina Selatan yang diklaim China | 7 |
| Gambar 2-1 Kapal <i>frigate</i> pada era kapal layar | 12 |
| Gambar 2-2 Pengembangan <i>frigate stealth-mode</i> | 14 |
| Gambar 2-3 <i>Exocet Missile</i> , salah satu contoh <i>ship-to-ship weaponry</i> | 15 |
| Gambar 2-4 Helikopter sejenis <i>SeaHawk</i> yang dilengkapi dengan <i>torpedo loading bay</i> | 16 |
| Gambar 2-5 <i>Vertical Launch SeaWolf</i> sebagai persenjataan tempur udara | 16 |
| Gambar 2-6 <i>Spiral Design Method</i> | 18 |
| Gambar 3-1 Wilayah kedaulatan Republik Indonesia | 28 |
| Gambar 3-2 Peta wilayah perairan Natuna | 29 |
| Gambar 3-3 Daftar LANTAMAL disekitar daerah operasi kapal <i>frigate</i> | 30 |
| Gambar 3-4 Daftar pangkalan dari Jakarta - Tanjung Pinang | 30 |
| Gambar 3-5 Daftar pangkalan disekitar perairan Natuna | 31 |
| Gambar 3-6 Rute operasi kapal <i>Multi-Role Light Frigate</i> | 31 |
| Gambar 4-1 Alur Metodologi Penelitian | 34 |
| Gambar 5-1 Rasio <i>Froude Number</i> dengan jenis kapal | 41 |
| Gambar 5-2 <i>Weight Margin for Naval Ship</i> | 42 |
| Gambar 5-3 Parameter perubahan ukuran utama awal | 43 |
| Gambar 5-4 <i>U.S. Navy Power Design Margin</i> | 44 |
| Gambar 5-5 Grafik penentuan <i>Outfit Coefficient</i> | 45 |
| Gambar 5-6 <i>Interface</i> proses optimasi desain <i>frigate</i> | 49 |
| Gambar 5-7 <i>Solver Parameters</i> saat melakukan optimasi | 50 |
| Gambar 5-8 <i>Solver Results</i> saat melakukan optimasi | 51 |
| Gambar 5-9 <i>Interface software maxsurf</i> | 52 |
| Gambar 5-10 Pemilihan <i>surface box</i> | 53 |
| Gambar 5-11 Contoh <i>surface box</i> awal | 53 |
| Gambar 5-12 <i>Interface</i> untuk input ukuran utama | 54 |
| Gambar 5-13 <i>Surface box</i> setelah diberi ukuran utama | 54 |
| Gambar 5-14 Pembentukan <i>control point</i> pada pemodelan | 55 |
| Gambar 5-15 Model selesai dibentuk | 55 |
| Gambar 5-16 <i>Interface</i> untuk pengecekan kondisi hidrostatik kapal | 56 |

| | |
|--|----|
| Gambar 5-17 Kondisi hidrostatik kapal yang sesuai koreksi..... | 57 |
| Gambar 5-18 <i>Interface</i> fitur <i>design grid</i> | 58 |
| Gambar 5-19 <i>Body plan</i> model kapal | 58 |
| Gambar 5-20 <i>Sheer plan</i> model kapal..... | 59 |
| Gambar 5-21 <i>Half-breadth plan</i> model kapal..... | 59 |
| Gambar 5-22 Rencana Garis <i>Multi-Role Light Frigate</i> | 59 |
| Gambar 5-23 <i>Layout</i> diambil dari <i>waterline</i> rencana garis..... | 60 |
| Gambar 5-24 <i>Layout</i> tiap dek..... | 60 |
| Gambar 5-25 <i>Watertight Subdivision</i> | 61 |
| Gambar 5-26 Pembuatan <i>Side View Layout</i> | 61 |
| Gambar 5-27 Pembuatan <i>Deckhouse Layout</i> | 61 |
| Gambar 5-28 Pembuatan <i>Superstructure Layout</i> | 62 |
| Gambar 5-29 Rencana Umum <i>Multi-Role Light Frigate</i> | 62 |
| Gambar 5-30 <i>Interface</i> analisa hambatan dan <i>powering</i> model kapal..... | 63 |
| Gambar 5-31 <i>Interface</i> pemilihan metode perhitungan hambatan model kapal | 64 |
| Gambar 5-32 Hasil grafik antara kecepatan model dengan <i>powering</i> | 64 |
| Gambar 5-33 Pembacaan grafik kecepatan vs <i>powering</i> | 65 |
| Gambar 5-34 <i>Interface</i> analisa stabilitas model kapal | 66 |
| Gambar 5-35 Proses perencanaan <i>tank arrangement</i> | 66 |
| Gambar 5-36 Penambahan kondisi <i>loading</i> model kapal | 67 |
| Gambar 5-37 Pemilihan kriteria stabilitas | 67 |
| Gambar 5-38 Kurva stabilitas setelah program selesai di <i>running</i> | 68 |

LAMPIRAN

1. Tabel Perhitungan *Microsoft Excel*
2. Rencana Garis dan Rencana Umum



"to lead a mankind into a better world"

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Gambaran Umum

Pada bab ini berisikan tentang latar belakang adanya suatu permasalahan yang dijadikan sebagai topik utama dalam pembuatan Tugas Akhir dimana bab ini juga berisikan rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, serta sistematika dalam penulisan Tugas Akhir. Pembahasan permasalahan yang akan dikaji dalam Tugas Akhir ini terdapat pada sub bab rumusan masalah. Dari permasalahan tersebut diperlukannya ruang lingkup atau batasan masalah agar tidak menyimpang jauh dari pembahasan yang sudah ditentukan, yang diatur dalam sub bab batasan masalah. Kemudian untuk sub bab tujuan, serta manfaat membahas untuk apa Tugas Akhir ini dibuat dan manfaat apa saja yang diperoleh dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Serta dalam sub bab sistematika penulisan berisi bagaimana format penulisan Tugas Akhir ini.

1.2 Latar Belakang

Kementrian Pertahanan Republik Indonesia telah menetapkan bahwa postur pertahanan tahun 2010-2029 diarahkan untuk membangun kekuatan yang bertaraf “*Minimum Essential Force*” (MEF). Terjemahan bebasnya adalah kekuatan pada tingkat minimum namun dapat diandalkan. Kekuatan (*Force*) disini berkonotasi pada jumlah Alat Utama Sistem Senjata (alutsista) TNI termasuk personilnya serta pendukungnya dari ketiga Angkatan Bersenjata (Darat, Laut dan Udara). Sudah banyak faktor dan pertimbangan yang melatar belakangi sehingga muncul kebijaksanaan ini. Tidak ada suatu ketentuan baku atau perhitungan pasti seberapa besar kekuatan yang “minimum” tersebut. Namun tiap negara tentu memiliki perbedaan dalam perhitungannya yang telah disesuaikan dengan kemampuan negara bersangkutan.

Dalam hal penggunaan Kekuatan Laut (baca: Angkatan Laut) ada baiknya kita soroti dari tugas Angkatan Laut RI sesuai dengan yang diamantkan dalam UU RI No. 34 tahun 2004 tentang TNI. Pada pasal 9, disebutkan bahwa tugas TNI Angkatan Laut pada hakekatnya dibagi kedalam empat tugas pokok yaitu, militer, *constabulary*, diplomasi serta pembinaan dan pengembangan potensi maritim. Dihadapkan dengan strata kepentingan nasional, maka untuk strata Mutlak yaitu prioritas pertama sepenuhnya dilaksanakan dalam tugas militer dan bukan dalam tugas *constabulary*. Kemampuan yang dibutuhkan adalah kemampuan untuk meniadakan ancaman, melalui operasi tempur untuk proyeksi kekuatan yang antara lain meliputi operasi terhadap kekuatan laut musuh, operasi pendaratan amfibi, operasi pembantu pelaksanaan operasi di darat dan operasi evakuasi. Operasi lain adalah pengendalian laut termasuk didalamnya melindungi jalur laut untuk perdagangan. Karena itu untuk tugas ini dibutuhkan kapal-kapal kombatan seperti *frigate*, *corvette*, kapal pendarat ataupun kapal selam. Sebagai gambaran, sebuah kapal perang jenis *frigate* modern dengan persenjataan yang mutakhir, didukung oleh sensor yang canggih akan lebih efektif dan mampu melaksanakan tugas tempur di perbatasan dibandingkan dengan lima unit kapal patroli dengan persenjataan konvensional. Pada strata Penting, antara lain dengan tugas-tugas *constabulary*, yaitu mampu menanggulangi pembajakan di laut, penyelundupan, perompakan, perlindungan terhadap armada perikanan, anti-terorisme maritim serta tugas penegakan hukum di laut lainnya. Dalam tugas ini dibutuhkan kapal-kapal patroli cepat berbagai jenis dibantu oleh pengintaian udara taktis maritim yang andal. Pada strata ini, kapal-kapal patroli cepat lebih efektif dan mampu daripada kapal jenis *frigate*. Kemampuan selanjutnya yang dibutuhkan oleh

kekuatan Angkatan Laut RI adalah untuk melaksanakan tugas yang lebih "lunak" atau *Benign Function*. Tugas ini meliputi antara lain, membantu menanggulangi akibat bencana alam, bantuan terhadap pengungsi di laut, penyelamatan dan pencarian (SAR), pengendalian pencemaran laut, survei hidrografi dan sebagainya. Untuk melaksanakan tugas ini diperlukan kapal-kapal berbagai jenis yang umumnya bukan kapal-kapal patroli, melainkan kapal-kapal kombatan yang memiliki peran layaknya kapal patroli. (Sumakul, 2014)

Selain itu, mengingat kondisi perairan sekitar Indonesia dimana sedang memanasnya wilayah perairan Laut Cina Selatan maka diperlukannya sebuah upaya oleh negara untuk ikut serta dalam menjaga keamanan di sekitar perairan tersebut. Salah satunya adalah dengan menambah jumlah armada tempur (KRI) yang beroperasi di sekitar perairan Natuna yang berbatasan langsung dengan Laut Cina Selatan. Hal ini bukan berarti Indonesia akan ikut berperang tetapi kehadiran satuan tempur TNI di Natuna justru untuk menjaga agar tidak terjadi konflik sekaligus menjaga kehormatan dan kedaulatan teritori NKRI. Kehadiran sejumlah KRI di Natuna diyakini mampu mengefisienkan biaya operasi patrol gugus keamanan laut atau gugus tempur laut karena dukungan logistik dan amunisi lebih dekat. Tidak seperti sekarang jika satuan patrol tadi melakukan tugasnya, jarak tempuh dan dukungan logistic dari Tanjung Pinang dan Jakarta menjadi bengkak karena jauhnya jarak dan harus isi ulang logistik. Demikian juga dalam hal kecepatan reaksi diperlukan waktu minimal 4 hari untuk sampai di Natuna.



Gambar 1-1 Wilayah Laut Cina Selatan yang diklaim China

<http://www.wilayahpertahanan.com/wp-content/uploads/2014/03/anine.jpg>

Berdasarkan penjelasan singkat diataslah maka penulis mencetuskan ide untuk melakukan penelitian mengenai desain pada kapal-kapal kombatan berperan ganda untuk memenuhi kebutuhan Hankam di Indonesia khususnya di perairan tertentu seperti perairan Natuna. Dalam hal ini penulis lebih memfokuskan penelitiannya pada kapal jenis *frigate* tipe *Multi-Role Light Frigate*.

1.3 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang diatas, dapat dirumuskan beberapa pokok permasalahan dalam Tugas Akhir ini, meliputi :

1. Bagaimana desain kapal *frigate* untuk perairan di Indonesia?
2. Bagaimana kajian teknis kapal tersebut khususnya pada persenjataan dan performa kapal?

1.4 Batasan Masalah

Penyusunan Tugas Akhir ini memerlukan batasan-batasan masalah yang berfungsi untuk mengefektifkan perhitungan dan proses penulisan. Batasan-batasan tersebut adalah sebagai berikut :

- Desain meliputi ukuran dan kapasitas persenjataan.
- Daerah operasional kapal meliputi cakupan perairan Indonesia di sekitar Perairan Natuna atau ALKI I.
- Inovasi dititikberatkan didesain lambung kapal *frigate*.
- Proses desain yang dibahas hanya sebatas *conceptual design*.
- Diasumsikan *cost* dalam pembuatan kapal tipe ini sudah termasuk dalam anggaran negara.

1.5 Tujuan

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan desain *lines plan* (Rencana Garis) dan *general arrangement* (Rencana Umum) dari *Multi-Role Light Frigate*.
2. Mendapatkan spesifikasi teknis berupa performa dan persenjataan dari *Multi-Role Light Frigate*.

1.6 Manfaat

Penulisan Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat, diantaranya sebagai berikut :

- Bagi Pemerintah, sebagai rujukan pertimbangan untuk pengembangan desain kapal *frigate* buatan dalam negeri.
- Bagi kalangan akademisi dan umum, sebagai sumbangsih pengetahuan dalam hal desain kapal *frigate* khususnya tipe *Multi-Role Light Frigate*.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah serta batasan masalahnya, tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan Tugas Akhir ini, manfaat yang diperoleh, dan sistematika penulisan laporan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tinjauan pustaka yang menjadi acuan dari penelitian Tugas Akhir. Dasar-dasar teori serta persamaan-persamaan yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir tercantum dalam bab ini.

BAB III. TINJAUAN DAERAH

Bab ini berisikan pemaparan data mengenai daerah operasional dari kapal yang akan didesain. Dalam bab ini berisi informasi mengenai daerah pelauaran, kondisi laut, dan factor-faktor pendukung operasional kapal.

BAB IV. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tahapan metodologi dalam menyelesaikan permasalahan secara berurutan dimulai dari tahap pengumpulan data dan studi literature, hingga pengolahan data untuk analisis lebih lanjut yang nantinya akan menghasilkan sebuah kesimpulan guna menjawab perumusan masalah yang sudah ditentukan.

BAB V. DESAIN *MULTI-ROLE LIGHT FRIGATE*

Bab ini merupakan inti dari penelitian yang dilakukan. Pada bab ini akan dibahas mengenai proses optimasi desain yang dilakukan guna mendapatkan ukuran utama *frigate* yang sesuai serta memenuhi persyaratan. Kemudian dilanjutkan dengan tahap perencanaan desain rencana garis dan rencana umum *frigate* sesuai dengan ukuran utama tersebut dan peraturan-peraturan yang berlaku.

BAB VI. PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan yang didapatkan dari proses penelitian yang dilakukan serta memberikan saran perbaikan untuk penelitian selanjutnya.



“in the darkest hour there is always a way out”

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Pada bab ini menjelaskan secara detail dasar teori termasuk pengetahuan mengenai fungsi dan misi dari kapal *Multi-Role Light Frigate*, kondisi perairan Natuna, persenjataan kapal perang, serta rumus pendekatan yang digunakan dalam Tugas Akhir ini dan. Dalam bab ini juga terdapat konsep-konsep serta peraturan-peraturan yang digunakan guna mendukung dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.

2.2 Kapal Frigate

Frigate atau pergata adalah suatu nama yang digunakan bagi berbagai jenis kapal perang pada beberapa masa yang berbeda. Istilah ini merujuk pada beberapa peran dan ukuran kapal yang berbeda.



Gambar 2-1 Kapal *frigate* pada era kapal layar

http://www.bestfon.info/images/joomgallery/originals/barcos_8/big_frigate_ship_in_the_sea_20130714_1382359654.jpg

Pada zaman kapal layar masih digunakan, *frigate* diciptakan sebagai kapal untuk melakukan tugas-tugas pengawalan armada dagang. Seperti kita ketahui pada zaman itu orang-orang Eropa sedang giat melakukan penjelajahan samudera untuk mencari daerah penghasil rempah-rempah. Dalam pelayaran tersebut sering dijumpai gangguan, baik dari perompak maupun dari armada militer negara musuh. Untuk itu diciptakan sebuah kapal yang mampu melakukan pelayaran jarak jauh, namun juga dapat mempertahankan diri dari serangan musuh. Pada zaman itu kapal jenis *frigate* biasanya dilengkapi dengan meriam disetiap sisi, haluan, dan buritan. Setiap kapal biasanya memiliki 100 pucuk meriam.

Kapal *frigate* muncul ketika negara-negara maritim seperti Spanyol, Belanda, Inggris, Portugal memerlukan kapal-kapal perang yang lebih lincah, lebih gesit dan lebih ringan dibandingkan dengan *galleon*. Hal ini diperlukan untuk menjaga atau patroli di wilayah jajahan sekaligus untuk menjaga kehadirannya di perairan dengan jumlah kapal yang lebih banyak. Untuk itu pada abad ke-17 hadir lah kapal-kapal *frigate*.

Kapal fregat memiliki ukuran lebih kecil daripada *galleon* namun memiliki tiga tiang layar. Kapal ini kemudian dianggap sebagai kapal tempur utama atau *ship-of-the-line* dalam suatu armada. Pada abad ke 18 dan 19 *frigate* kemudian dimodifikasi dan ditambahkan tempat komando yang kemudian ditambahkan pada kapal *galleon*.

Saat ini, kapal jenis *frigate* digunakan untuk patroli samudera, serta pengawalan armada dagang dan tangker di daerah rawan. Misalnya armada *frigate* milik Amerika Serikat sering digunakan untuk patroli di kawasan perairan Timur Tengah. Kapal *frigate* modern biasanya dilengkapi dengan meriam serba guna, torpedo, rudal dari permukaan ke permukaan, dan rudal dari permukaan ke udara. Secara spesifik fregat dibagi dalam beberapa fungsi, ada spesialis antikapal selam, antikapal permukaan, patroli, dan pertahanan udara. Sistem senjata dan elektronika yang ada di setiap *frigate* disesuaikan dengan tugas spesifik tersebut. Hal inilah yang menjadi pembeda antara kapal *frigate* dengan kapal patroli yang umum. Karena pada dasarnya, untuk bentuk dan karakteristik lambung, biasanya ada kemiripan antara kapal *frigate* dan kapal patroli. Namun tidak untuk sistem senjata dan lain-lain seperti yang dijelaskan diatas.

Frigate adalah salah satu jenis kapal kombatan. Termasuk di dalamnya *frigate* yang menenggelamkan kapal Komodor Yos Sudarso di Laut Aru, pada upaya perebutan kembali Irian Barat, 1962. (Fregat, 2013)

2.2.1 *Multi-Role Light Frigate*

Adalah salah satu jenis dari kapal *frigate* yang dimana memiliki peran dan kemampuan rata-rata seperti kapal kombatan lainnya. Adapun keunggulan dari tipe ini ialah biaya pengadaannya relatif murah. Kapal jenis ini sering diawaki oleh unit-unit tempur angkatan laut yang sangat khusus dan biasanya berfungsi untuk mendukung kapal perang lainnya dalam misi mereka. *Frigate* individu dapat dilengkapi dengan misalnya, pendeteksi kapal selam, persenjataan anti-pesawat udara atau pertahanan terhadap kapal permukaan.

Dari segi dimensi, MRLF memiliki ukuran yg relatif lebih kecil sekitar 100 meter. Berbeda dengan tipe kombatan lainnya yang berukuran diatas 100 meter. Hal ini menguntungkan bagi tipe MRLF karena memperkecil kemungkinan terdeteksinya kapal akibat pantulan radar (memungkinkan pengembangan *stealth-mode*). Selain itu dengan ukuran yang tidak terlalu besar, kapal jenis ini mampu berperan layaknya kapal patroli. (Indonesia Beli Tiga Kapal Fregat Inggris, 2013)



Gambar 2-2 Pengembangan *frigate stealth-mode*

http://www.luerssen-defence.com/uploads/tx_templavoila/bild_09.jpg

Dari sudut pandang teknik, kapal jenis ini banyak mendapat sanjungan manis. Diantaranya kemampuan manuver yang cepat, olah gerak kapal yang teratur serta kecepatan yang bisa diandalkan. Sedangkan dari sudut pandang persenjataan, MRLF tidak kalah lengkapnya dengan kapal-kapal kombatan lainnya. Sebagai contoh, kapal *frigate* kelas Nakhoda memiliki kecepatan maksimal 30 knot yang dilengkapi sensor radar dan avionik buatan *Thales*, Perancis. Selain itu, kapal ini dilengkapi dengan satu meriam 76 mm, dua meriam penangkis udara kaliber 30 mm, torpedo, *Thales Sensors Cutlass 22*, rudal permukaan ke udara *Sea Wolf*, rudal *Exocet MM40 Block II* yang berjangkauan 180 km, dan hanggar yang mampu menampung satu helikopter anti kapal selam jenis *Sikorsky S-70 Seahawk*.

2.2.2 Perbedaan Kapal *Corvette* dan *Light Frigate*

Korvet arau *corvette* merupakan jenis kapal perang yang lebih kecil dari *frigate* dan lebih besar dari kapal patroli pantai, walaupun banyak desain terbaru yang menyamai *frigate* dalam ukuran dan tugas. Biasanya dimasukan kategori sebagai kapal patroli yang mampu melakukan operasi sergap dan serbu secara mandiri. Istilah *corvette* sendiri diperkenalkan oleh Angkatan Laut Perancis pada abad ke-17 untuk menyebut suatu kapal kecil (biasanya membawa 20 meriam) yang digunakan untuk melindungi kapal dagang dan patroli lepas pantai. Angkatan Laut Inggris kemudian juga mengadopsi istilah ini pada abad ke-19.

Desain kapal *corvette* yang umum digunakan hingga saat ini merupakan hasil pengembangan dari kapal penangkap ikan paus (*whale chatcher*). Kapal ini merupakan jawaban akan kapal perusak/*destroyer* atau kapal penghancur kapal torpedo (*torpedo boat destroyer*) yang berukuran lebih besar. Dimana Angkatan Laut Inggris memerlukan kapal kecil dan gesit dengan tugas melindungi kapal-kapal dagangnya. Kapal *corvette* sendiri

memiliki fungsi yang serupa dengan kapal perusak, tetapi berukuran lebih kecil. (Korvet, 2013)

Sedangkan untuk kapal *light frigate* secara garis besar adalah kapal jenis *corvette*. Meskipun tidak ada sumber yang mengatakan dengan jelas perbedaan kedua jenis kapal ini, namun menurut pengamatan dari data yang ada, perbedaan utama terletak pada fungsi tugas dari kedua jenis kapal tersebut. Dimana kapal *corvette* lebih difungsikan sebagai kapal patrol dan intai. Sedangkan kapal *light frigate* lebih difungsikan untuk kapal intai dan serang dibanyak negara.

2.2.3 Persenjataan Pada Kapal *Frigate*

Dalam sub bab ini, pokok bahasan utama adalah menganalisa sistem persenjataan yang akan diinstalasi diatas kapal. Hal ini penting dalam proses mendesain kapal *frigate* mengingat fungsi utama dari kapal jenis ini tidak lain adalah untuk pertahanan dan keamanan, seperti yang telah penulis jelaskan pada latar belakang sebelumnya. Dalam dunia persenjataan perang, khususnya persenjataan pada kapal, sistem persenjataan dibagi menjadi empat macam, antara lain :

- Senjata atas air, yaitu persenjataan yang digunakan untuk mengatasi serangan maupun ancaman yang berada di permukaan air (*ship-to-ship*)



Gambar 2-3 *Exocet Missile*, salah satu contoh *ship-to-ship weaponry*

http://www.naval-technology.com/projects/dezeven/images/dezeven_8.jpg

- Senjata bawah air, yaitu persenjataan yang digunakan untuk mengatasi serangan maupun ancaman yang berasal dari bawah permukaan air (*anti-sub*)



Gambar 2-4 Helikopter sejenis *SeaHawk* yang dilengkapi dengan *torpedo loading bay*

[http://2.bp.blogspot.com/-PcrlhNSREk/Ut3kXt01GFI/AAAAAAAAAh0/oq8MiKKruxg/s1600/Pak+Navy's+Z-9C+Anti-submarine+warfare+\(ASW\)+Helicopter..jpg](http://2.bp.blogspot.com/-PcrlhNSREk/Ut3kXt01GFI/AAAAAAAAAh0/oq8MiKKruxg/s1600/Pak+Navy's+Z-9C+Anti-submarine+warfare+(ASW)+Helicopter..jpg)

- Senjata sasaran udara, yaitu persenjataan yang digunakan untuk mengatasi serangan maupun ancaman yang berasal dari wilayah udara (*ship-to-aircraft*)



Gambar 2-5 *Vertical Launch SeaWolf* sebagai persenjataan tempur udara

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/33/Defence_Imagery_-_Missiles_10.jpg

- Radar dan Sonar, yaitu sistem bantu yang berguna untuk menunjang kinerja dan operasional kapal. Untuk radar terdiri atas radar navigasi, radar pengunci dan radar pemantau. Sedangkan sonar digunakan sebagai pencitraan wilayah yang berada di bawah permukaan air di sekitar kapal. Selain itu juga perlu ditambahkan fitur seperti VTS (*Vessel Tracking System*) guna pengawasan intensif pada kapal-kapal yang berindikasi akan mengancam pertahanan laut Indonesia.

2.3 Klasifikasi Desain

Klasifikasi desain merepresentasikan berbagai tipe desain yang dapat dibedakan berdasarkan pada apakah terdapat “inovasi” atau “inovasi” yang diaplikasikan selama proses desain. Inovasi di sini berarti bahwa desainer mengeksplorasi ide-ide aslinya untuk menciptakan produk desain yang bentuknya baru secara keseluruhan. Inovasi berarti bahwa desainer memanfaatkan produk desain yang ada dan memperbarui produk ini dengan menggunakan kembali konsep-konsep pemecahan dan bagian-bagian dari produk ini untuk menciptakan produk baru yang bentuknya secara parsial sama dengan produk yang ada tersebut. (Manfaat, 2013)

Kebanyakan proses desain kapal merupakan bagian dari inovasi, artinya seluruh perencanaan dan analisis dilakukan secara berulang demi mencapai hasil yang maksimal ketika desain tersebut dikembangkan. Metode ini disebut juga dengan *spiral design*. Dalam *spiral design* membagi seluruh proses menjadi 4 tahapan yaitu: *concept design*, *preliminary design*, *contract design*, dan *detail design*.

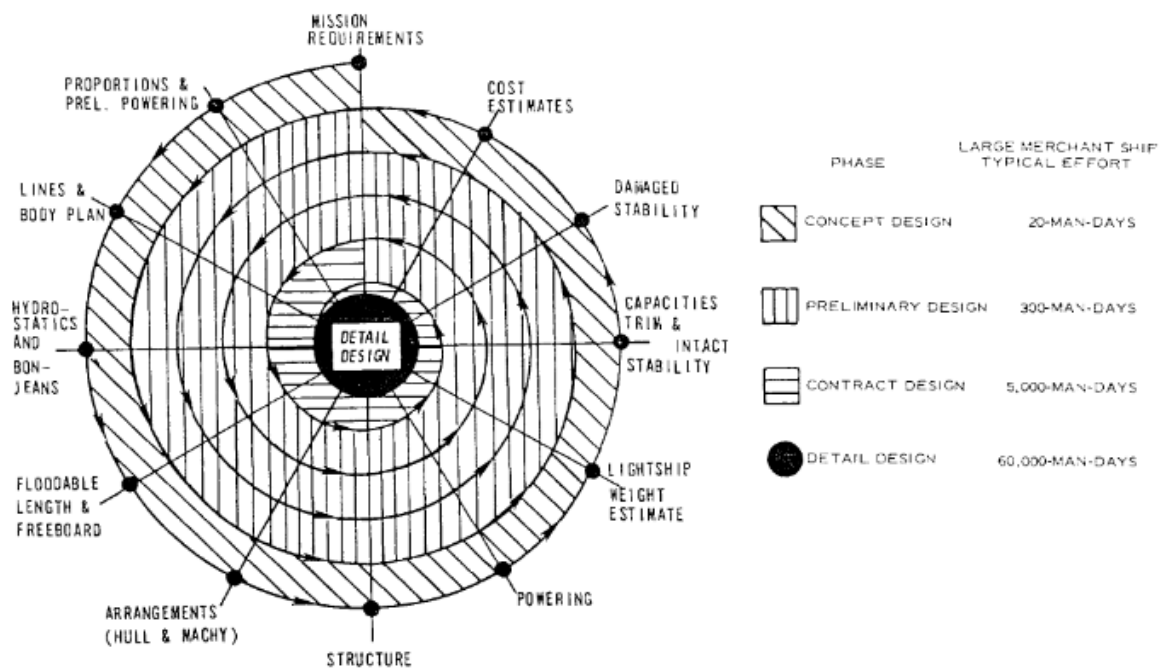
2.4 Tahapan Desain

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa umumnya proses desain dan pembangunan kapal menggunakan metode *spiral design*, atau inovasi terhadap sebuah desain kapal yang sudah ada sebelumnya, dengan melakukan rekayasa desain untuk mendapatkan desain yang lebih optimal. Berikut adalah uraian tahapan-tahapan desain sebuah kapal.

2.4.1 *Concept design*

Konsep desain kapal merupakan tahap lanjutan setelah adanya *Owner design requirement* dimana konsep desain juga merupakan *basic design* dalam proses desain kapal. Konsep desain kapal adalah tugas atau misi *designer* untuk mendefinisikan sebuah objek untuk memenuhi persyaratan misi dan mematuhi seperangkat kendala

Konsep bisa dibuat dengan menggunakan rumus pendekatan, kurva ataupun pengalaman untuk membuat perkiraan-perkiraan awal yang bertujuan untuk mendapatkan ukuran kapal, bentuk badan kapal, tata letak ruang dan lain-lain. Hasil dari tahapan konsep desain ini biasanya berupa gambar atau sketsa secara umum, baik sebagian ataupun secara lengkap. (Evans, 1959)



Gambar 2-6 Spiral Design Method
Ship Design and Construction - SNAME

2.4.2 Preliminary Design

Tahapan yang kedua dalam proses desain adalah *preliminary design*. *Preliminary design* adalah usaha teknis lebih lanjut yang akan memberikan lebih banyak detail pada konsep desain. Dalam hubungannya dengan desain spiral, *preliminary design* ini merupakan iterasi kedua atau bisa dikatakan lintasan kedua pada desain spiral. Adapun yang dimaksud detail meliputi fitur-fitur yang memberikan dampak signifikan pada kapal, termasuk juga pendekatan awal biaya yang akan dibutuhkan. Contoh dari penambahan detail adalah perhitungan kekuatan memanjang kapal, pengembangan bagian midship kapal, perhitungan yang lebih akurat mengenai berat dan titik berat kapal, sarat, stabilitas, dan lain-lain.

2.4.3 Contract Design

Pada tahap *contract design* merupakan tahap lanjutan setelah *preliminary design*. Pada tahapan ini merupakan tahap pengembangan desain kapal dalam bentuk yang lebih mendetail yang memungkinkan pembangun kapal memahami kapal yang akan dibuat dan mengestimasi secara akurat seluruh biaya pembuatan kapal.

Tujuan utama pada kontrak desain adalah pembuatan dokumen yang secara akurat dengan mendeskripsikan kapal yang akan dibuat. Selanjutnya dokumen tersebut akan menjadi

dasar dalam kontrak atau perjanjian pembangunan antara pemilik kapal dan pihak galangan kapal. Adapun komponen dari *contract drawing* dan *contract specification* meliputi :

- *Arrangement drawing*
- *Structural drawing*
- *Structural details*
- *Propulsion arrangement*
- *Machinery selection*
- *Propeller selection*
- *Generator selection*
- *Electrical selection*

Dimana keseluruhan komponen-komponen di atas biasa disebut *key plan drawing*. *Key plan drawing* tersebut harus merepresentasikan secara detail fitur-fitur kapal sesuai dengan permintaan pemilik kapal

2.4.4 *Detail Design*

Detail design adalah tahap terakhir dari proses mendesain kapal. Pada tahap ini hasil dari tahapan sebelumnya dikembangkan menjadi gambar kerja yang detail. Pada tahap detail design mencakup semua rencana dan perhitungan yang diperlukan untuk proses konstruksi dan operasional kapal. Bagian terbesar dari pekerjaan ini adalah produksi gambar kerja yang diperlukan untuk penggunaan mekanik yang membangun lambung dan berbagai unit mesin bantu dan mendorong lambung, fabrikasi, dan instalasi perpipaan dan kabel. Hasil dari tahapan ini adalah berisi petunjuk atau intruksi mengenai instalasi dan detail konstruksi pada *fitters*, *welders*, *outfitters*, *metal workers*, *machinery vendors*, *pipe fitters*, dan lain-lainnya.

2.5 **Metode Umum Desain Kapal**

Setelah melakukan tahap-tahapan desain di atas, langkah selanjutnya dalam proses desain kapal menentukan metode desain kapal. Secara umum metode dalam desain kapal adalah sebagai berikut:

2.5.1 *Parent Design Approach*

Parent design approach merupakan salah satu metode dalam mendesain kapal dengan cara perbandingan atau komparasi, yaitu dengan cara menganbil sebuah kapal yang dijadikan sebagai acuan kapal pembanding yang memiliki karakteristik yang sama dengan kapal yang

akan dirancang. Dalam hal ini designer sudah mempunyai referensi kapal yang sama dengan kapal yang akan dirancang, dan terbukti mempunyai performance yang bagus. Dengan menggunakan metode inilah penulis menghasilkan ukuran utama awal kapal yang akan dirancang.

Keuntungan dalam *parent design approach* adalah :

- Dapat mendesain kapal lebih cepat, karena sudah ada acuan kapal sehingga tinggal memodifikasi saja.
- Performance kapal terbukti (*stability, motion, resistance*)

2.5.2 *Trend Curve Approach*

Dalam proses desain kapal terdapat beberapa metode salah satunya yaitu *Trend Curve approach* atau biasanya disebut dengan metode statistik dengan memakai regresi dari beberapa kapal pembanding untuk menentukan *main dimension*. Dalam metode ini ukuran beberapa kapal pembanding dikomparasi dimana variabel dihubungkan kemudian ditarik suatu rumusan yang berlaku terhadap kapal yang akan dirancang.

2.5.3 *Iteratif Design Approach*

Iteratif desain adalah sebuah metodologi desain kapal yang berdasarkan pada proses siklus dari *prototyping, testing, dan analyzing*. Perubahan dan perbaikan akan dilakukan berdasarkan hasil pengujian iterasi terbaru sebuah desain. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan fungsionalitas dari sebuah desain yang sudah ada. Proses desain kapal memiliki sifat iteratif yang paling umum digambarkan oleh spiral desain yang mencerminkan desain metodologi dan strategi. Biasanya metode ini digunakan pada orang-orang tertentu saja (sudah berpengalaman dengan menggunakan *knowledge*).

2.5.4 *Parametric Design Approach*

Parametric design approach adalah metode yang digunakan dalam mendesain kapal dengan parameter misalnya (L, B, T, Cb, LCB dll) sebagai *main dimension* yang merupakan hasil regresi dari beberapa kapal pembanding, kemudian dihitung hambatannya (R_t), merancang baling-baling, perhitungan perkiraan daya motor induk, perhitungan jumlah ABK, perhitungan titik berat, trim, dan lain-lain.

2.5.5 *Optimization Design Approach*

Metode optimasi digunakan untuk menentukan ukuran utama kapal yang optimum berdasarkan suatu nilai yang dioptimalkan hasilnya. Dalam hal ini, disain yang optimum dicari dengan menemukan disain yang akan meminimalkan *ship resistance*. Adapun parameter dari optimasi ini adalah rasio ukuran kapal dan karakteristik kapal seperti *displacement, stability, Froude Number*.

2.6 Tinjauan Teknis Desain Kapal *Multi-Role Light Frigate*

2.6.1 Penentuan Ukuran Utama Dasar

Dalam proses desain kapal terdapat langkah-langkah perhitungan untuk menentukan ukuran utama kapal yang dirancang berdasarkan kapal-kapal pembanding. Langkah-langkah ini berlaku pada umumnya untuk berbagai tipe kapal. Tetapi, untuk jenis kapal perang biasanya menggunakan metode lain dalam penentuan ukuran utama awal ini. Ukuran utama yang dicari harus sesuai dengan jenis kapal yang telah ditentukan/akan dirancang. Sebagai langkah awal, dicari beberapa variasi kapal *frigate* yang karakteristik dan fungsinya mendekati kapal *Multi-Role Light Frigate*.

Adapun ukuran-ukuran yang perlu diperhatikan sebagai kapal pembanding adalah:

a. Lpp (*Length between Perpendicular*)

Panjang yang diukur antara dua garis tegak yaitu, jarak horizontal antara garis tegak buritan (*After Perpendicular/AP*) dan garis tegak haluan (*Fore Perpendicular/FP*).

b. LOA (*Length Overall*)

Panjang seluruhnya, yaitu jarak horizontal yang diukur dari titik terluar depan sampai titik terluar belakang kapal.

c. Bm (*Moulded Breadth*)

Lebar terbesar diukur pada bidang tengah kapal diantara dua sisi dalam kulit kapal untuk kapal-kapal baja. Untuk kapal yang terbuat dari kayu atau bukan logam lainnya, diukur antara dua sisi terluar kulit kapal.

d. H (*Height*)

Jarak tegak yang diukur pada bidang tengah kapal, dari atas lunas sampai titik atas balok geladak sisi kapal.

e. T (*Draught*)

Jarak yang diukur dari sisi atas lunas sampai ke permukaan air.

2.6.2 Perhitungan Hambatan Kapal

Perhitungan hambatan kapal dilakukan untuk memperoleh daya mesin yang dibutuhkan. Nilai yang mempengaruhi besarnya hambatan adalah ukuran dari kapal, badan kapal yang tercelup dalam air, serta kecepatan yang diinginkan. Untuk *Multi-Role Light Frigate* ini nilai hambatan dapat dihitung melalui rumus pendekatan *Holtrop*. Hal ini dikarenakan tipe kapal termasuk dalam *displacement vessel*.

1. Hambatan kapal *frigate*

Dalam menentukan hambatan kapal *frigate* menggunakan metode *Holtrop & Mennen*.
Total Resistance:

$$R_T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S_{\text{tot}} \cdot (C_F (1+k) + C_A) + (R_w/W) \cdot W \dots\dots\dots(2.5)$$

Variable-variabelnya yaitu:

a. Hambatan kekentalan (*viscous resistance*)

Hambatan kekentalan adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan mengintegrasikan tegangan tangensial keseluruhan permukaan basah kapal menurut arah gerakan kapal. persamaannya adalah:

$$R_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_{FO} \cdot (1+k_1) \cdot S \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

$1+k_1$ = faktor bentuk lambung kapal

$$1+k_1 = 0,93+0,4871 \cdot C \cdot (B/L)^{1,081} \cdot (T/L)^{0,4611} \cdot (L^3/V)^{0,3649} \cdot (1-C_p)^{-0,6042} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$1+k = 1+k_1 + [1+k_2 - (1+k_1)] S_{\text{app}}/S_{\text{tot}} \dots\dots\dots(2.8)$$

$1+k_2$ = koefisien karena bentuk tonjolan pada lambung kapal

| <i>Type of Appendages</i> | <i>Value of 1+k₂</i> |
|--|---------------------------------|
| <i>Rudder of single screw ships</i> | 1.3 to 1.5 |
| <i>Spade type rudder of twin screw ships</i> | 2.8 |
| <i>Skeg-rudders of twin-screw ships</i> | 1.5 to 2 |
| <i>Shaft Brackets</i> | 3.0 |
| <i>Bossing</i> | 2.0 |
| <i>Bilge keel</i> | 1.4 |
| <i>Stabilizer fins</i> | 2.8 |
| <i>Shafts</i> | 2.0 |
| <i>Sonar dome</i> | 2.7 |

Tabel 2-1 Tabel harga $1+k_2$

b. Hambatan gelombang (*wave resistance*)

Tahanan gelombang adalah komponen tahanan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan akibat pengaruh gelombang pada saat kapal berjalan dengan kecepatan tertentu. Persamaannya adalah:

$$R_w/W = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot e^{\{m_1 F_n^d + m_2 \cos(\lambda F_n^{-2})\}} \dots\dots\dots(2.9)$$

c. *Model ship correlation allowance*

$$C_A = 0.006 (L_{WL} + 100)^{-0.16} - 0.00205 \quad \text{for } T_f/L_{wl} > 0.04 \dots\dots\dots(2.10)$$

2.6.3 Perhitungan Daya Mesin

Dengan mengetahui hambatan yang dialami kapal dan juga efisiensi dari *propeller* yang direncanakan maka dapat dihitung daya mesin yang dibutuhkan.

$$P_B = BHP = P_D / \eta_s \cdot \eta_{rg} \dots\dots\dots(2.13)$$

$$\text{Dimana: } P_D = (R_T \cdot V_s) / \eta_D \dots\dots\dots(2.14)$$

2.6.4 Perhitungan Berat Baja Kapal

Frigate merupakan kapal baja, oleh karena itu pada tahap ini perhitungan berat baja kapal dilakukan dengan rumus dari buku *Practical Ship Design*. Selain menghitung berat baja kapal kosong, juga dilakukan perhitungan berat perlengkapan, berat permesinan serta berat cadangan. Adapun rumus dasar perhitungan ini adalah:

1. Menghitung LWT kapal.

a. Perhitungan berat baja kapal.

$$W_{si} = K \cdot E^{1.36} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$E = L(B+T) + 0.85 L(D-T) + 0.85 \{(l_1 \cdot h_1) + 0.75(l_2 \cdot h_2)\} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana : K = koefisien factor

Untuk *Frigate* K = 0.023

b. Perhitungan berat perlengkapan

$$W_o = C_o \times L \times B \dots\dots\dots(2.3)$$

C_o = outfit weigh coefficient

c. Berat cadangan (W_{res})

$$W_{res} = (7-10)\% \times LWT \dots\dots\dots(2.4)$$

2. Menghitung DWT kapal

Dalam desain *frigate* atau kapal perang perhitungan untuk menghitung besarnya payload adalah berdasarkan misi/penugasan kapal. Apakah kapal nantinya digunakan sebagai sarana patroli atau alat tempur disaat terjadi konflik. Oleh karena itu, sebagai

pedoman dalam perhitungan DWT kapal yang akan dihitung hanyalah *consumable*, persenjataan serta jumlah kru dan hal-hal lainnya yang bersangkutan dengan misi/penugasan kapal.

2.6.5 Perhitungan Trim dan Stabilitas

Perhitungan trim merupakan syarat mutlak dalam desain sebuah kapal. Suatu kapal dapat dikatakan layak untuk berlayar jika telah memenuhi beberapa persyaratan, salah satu syarat itu adalah besarnya kondisi trim kapal yang terjadi. Suatu kapal dikatakan dalam kondisi baik untuk berlayar jika berada dalam kondisi even-keel. Namun bila tidak diperoleh kondisi tersebut, ada beberapa persyaratan yang diijinkan dalam kondisi trim, yaitu besarnya trim tidak lebih dari 0.05%. nilai ini dijadikan sebagai batasan (*constraint*) dalam proses iterasi dalam memperoleh ukuran utama.

Selain trim, ada persyaratan lain dalam desain kapal yaitu persyaratan stabilitas. Dalam Tugas Akhir ini dilakukan perhitungan stabilitas utuh (*intact stability*) dengan menggunakan rumus dari “*The Theory and Technique of Ship Design*” [Manning, 1996]. Pengertian stabilitas adalah kemampuan kapal untuk kembali pada kedudukan setimbang dalam kondisi air tenang ketika kapal mengalami gangguan dalam kondisi tersebut. Perhitungan stabilitas dapat digunakan untuk mengetahui kemampuan kapal kembali pada kedudukan semula apabila mengalami oleng pada saat berlayar. Keseimbangan statis suatu benda dibedakan atas tiga macam yaitu:

1. Keseimbangan stabil

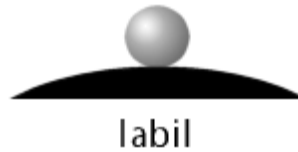
Adalah kondisi ketika benda mendapat kemiringan akibat adanya gaya luar, maka benda akan kembali pada kondisi semula setelah gaya tersebut hilang. Jika ditinjau dari sudut keseimbangan kapal maka letak titik G (*centre of gravity*) berada dibawah titik M (*metacentre*).



2. Keseimbangan Labil

Adalah kondisi ketika benda mengalami kemiringan akibat adanya gaya luar yang bekerja pada benda tersebut, maka kedudukan benda akan cenderung berubah lebih

banyak dari kedudukan semula sesudah gaya tersebut hilang. Jika ditinjau dari sudut keseimbangan kapal maka letak titik G berada diatas titik M.



3. Keseimbangan *indeferent*

Adalah kondisi ketika benda mengalami kemiringan sedikit dari kedudukannya akibat adanya gaya dari luar, maka benda tetap pada kedudukannya yang yang baru walaupun gaya tersebut telah hilang. Jika ditinjau dari sudut keseimbangan kapal maka letak titik berat G berimpit dengan titik *metacentre* M.



Kapal harus mempunyai stabilitas yang baik dan harus mampu menahan semua gaya luar yang mempengaruhinya hingga kembali pada keadaan seimbang. Hal-hal yang memegang peranan penting dalam stabilitas kapal antara lain:

- Titik G (*gravity*), yaitu titik berat kapal.
- Titik B (*buoyancy*), yaitu titik tekan keatas akibat air yang dipindahkan akibat badan kapal yang tercelup.
- Titik M (*metacentre*), yaitu titik perpotongan antara vector gaya tekan keatas pada keadaan tetap dengan vector gaya tekan keatas pada sudut oleng.

Kemampuan apung kapal adalah kemampuan kapal untuk mendukung gaya berat yang dibebankan dengan menggunakan tekanan hidrostatik yang bekerja dibawah permukaan air dan memberikan daya dukung dengan gaya angkat statis pada kapal. Pada umumnya, kapal yang akan dibangun harus dapat dibuktikan secara teoritis bahwa kapal tersebut memenuhi standart keselamatan pelayaran *Safety Of Life At Sea* (SOLAS) atau *International Maritime Organization* (IMO). Akan tetapi, dikarenakan kapal yang dirancang oleh penulis tidaklah termasuk dalam regulasi yang dimaksud maka penulis memutuskan menggunakan standar lain yaitu *Naval Ship Stability Criteria according DDS 079-1-b(1) Intact stability*. Adapun beberapa kriteria dalam standar yang dimaksud antara lain :

- $\phi 30^\circ \geq 0.080 \text{ m.rad}$

- Luas gambar dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $30^\circ \geq 0.080 \text{ m.rad}$
2. $e0 \ 40^\circ \geq 0.133 \text{ m.rad}$
Luas gambar dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $40^\circ \geq 0.133 \text{ m.rad}$
 3. $e30,40^\circ \geq 0.048 \text{ m.rad}$
Luas gambar dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $30^\circ \sim 40^\circ \geq 0.048 \text{ m.rad}$
 4. H_{\max} pada $\phi_{\max} \geq 30^\circ$
Lengan penegak maksimum pada sudut oleng lebih dari 30°
 5. $GM_0 \geq 0.3 \text{ m}$
Tinggi metasenter awal GM_0 tidak boleh kurang dari 0.3 meter.
 6. GZ / GZ_{\max} shall not less than 60%
Rasio perbandingan antara lengan pembalik statis dengan lengan pembalik maksimal tidak boleh dibawah 60%

2.6.6 Perhitungan *Freeboard*

Khusus untuk kapal perang atau sejenisnya perhitungan *freeboard* bisa dianggap tidak perlu dilakukan. Namun apabila tetap dilakukan, guna memastikan keselamatan kapal, maka proses perhitungan juga mengacu pada regulasi umum yang mengatur kapal umum lainnya.

Lambung timbul (*freeboard*) merupakan salah satu jaminan keselamatan kapal selama melakukan pelayaran/misi/penugasan. Secara sederhana pengertian lambung timbul adalah jarak tepi sisi geladak terhadap air yang diukur pada tengah kapal. Karena lambung timbul menyangkut keselamatan kapal, maka terdapat beberapa peraturan mengenai lambung timbul antara lain untuk kapal yang berlayar di perairan dapat menggunakan PGMI (Peraturan Garis Muat Indonesia) tahun 1985 dan peraturan internasional untuk lambung timbul yang dihasilkan dari konferensi internasional tentang peraturan lambung timbul minimum ILLC (*International Load Lines Convention, 1966 on London*), dalam peraturan tersebut dinyatakan bahwa tinggi lambung timbul minimum (*summer load lines*) telah disebutkan dalam tabel lambung timbul minimum untuk kapak dengan panjang tertentu.



"nothing is true, everything is permitted"

BAB 3

TINJAUAN DAERAH

3.1 Pendahuluan

Bab ini berisikan pemaparan data mengenai daerah operasional dari kapal yang akan didesain. Dalam bab ini berisi informasi mengenai daerah pelauaran, kondisi laut, dan faktor-faktor pendukung operasional kapal.

3.2 Daerah Pelayaran Kapal



Gambar 3-1 Wilayah kedaulatan Republik Indonesia

http://3.bp.blogspot.com/-RI42_4v160g/UHM5mrmTnV/AAAAAAAAQA/QbIwLOBlb6M/s1600/8.jpg

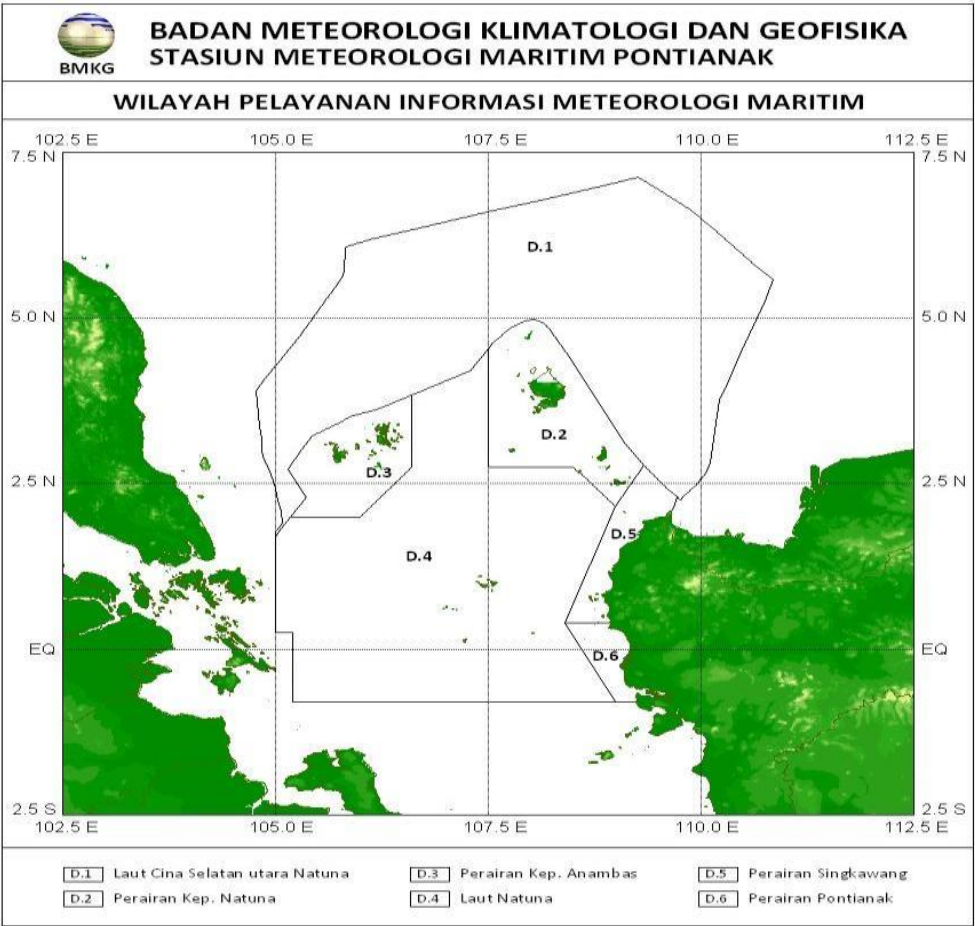
Negara Indonesia merupakan negara maritim yang membentang luas dari 98° BT sampai dengan 141° BT dan 6° LU sampai dengan 11° LS, merupakan negara kepulauan terbesar di dunia. Dengan jumlah pulau sebanyak 17.508 pulau dan panjang garis pantai lebih dari 81.000 km tentu bisa dikatakan bahwa sebagian besar negara kita adalah laut. Hal ini juga merupakan keuntungan sekaligus kerugian bagi negara, sebab selain sebagai sumber daya alam hayati yang kaya, laut juga merupakan salah satu lokasi dimana tindak kriminal sering terjadi. Dimana mulai dari tindakan terkecil seperti penangkapan ikan secara ilegal hingga tindakan yang bisa dikatakan berbahaya dan mengancam kedaulatan negara seperti pengakusisian atau pengakuan wilayah laut yang sempat kita alami dulu ketika kasus kepulauan ambalat.

Adalah peningkatan pengamanan dan pertahanan di sekitar perairan Natuna atau daerah pelayaran ALKI 1 yang menjadi latar belakang penulis dalam merancang kapal *frigate*. Dibawah ini akan dijelaskan lebih lanjut mengenai detail kondisi dan hal-hal yang terkait dengan perairan Natuna.

3.3 Kondisi Perairan Natuna

Berdasarkan prakiraan cuaca wilayah pelayanan Stasiun Meteorologi Maritim Pontianak, didapatkan data bahwa tinggi gelombang maksimum 2.0 meter berpeluang terjadi di Laut Cina Selatan bagian Utara Natuna, Perairan Singkawang-Sambas, Perairan Natuna,

Perairan Kepulauan Natuna dan Perairan Kepulauan Anambas. Sedangkan untuk kategori perairan dapat dikatakan sebagai *Sea State 4* (wave height 1.25 to 2.5 m).



Gambar 3-2 Peta wilayah perairan Natuna
Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

| NO | NAMA WILAYAH PERAIRAN | ARAH ANGIN (DARI) | KEC.ANGIN (KNOT) | CUACA | TINGGI GEL. SIG. | TINGGI GEL. MAX. |
|-----|--------------------------------|----------------------|---------------------|--------------|------------------|------------------|
| | | | | | (METER) | (METER) |
| D.1 | LAUT CINA SELATAN UTARA NATUNA | Timur Laut | 10 - 15 | Hujan Sedang | 0.5-1.2 | 1.0 - 2.0 |
| D.2 | PERAIRAN KEP. NATUNA | Timur Laut | 10 - 15 | Hujan Sedang | 0.5-1.2 | 1.0 - 2.0 |
| D.3 | PERAIRAN KEP. ANAMBAS | Timur Laut | 10 - 15 | Hujan Sedang | 0.5-1.2 | 1.0 - 2.0 |
| D.4 | LAUT NATUNA | Timur Laut | 10 - 15 | Hujan Sedang | 0.5-1.2 | 1.0 - 2.0 |
| D.5 | PERAIRAN SINGKAWANG SAMBAS | Timur Laut | 10 - 15 | Hujan Sedang | 0.5-1.2 | 1.0 - 2.0 |
| D.6 | PERAIRAN PONTIANAK | Utara | 4 - 8 | Hujan Sedang | 0.2 - 0.5 | 0.3 - 0.7 |

Tabel 3-1 Tabel kondisi perairan Natuna
Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

3.4 Rute Operasi/Misi *Multi-Role Light Frigate*

Berdasarkan penjelasan sebelumnya mengenai daerah operasi/misi/penugasan kapal maka pada sub bab ini penulis akan menjelaskan sekilas mengenai fasilitas pangkalan yang ada di sekitar daerah tersebut. Adapun beberapa pangkalan utama yang aktif beroperasi antara lain, LATAMAL IV TPI, LANTAMAL III JAKARTA dan LANTAMAL XII (sedang dalam pembangunan). Ketiga pangkalan utama ini termasuk dalam klas A dimana beberapa fasilitas

penting pendukung operasi/misi/penugasan kapal terdapat di pangkalan ini. Sedangkan untuk pangkalan bantu (*support base*) terdapat empat pangkalan yang juga tersebar disekitar daerah yang dimaksud. Berikut ini adalah beberapa ilustrasi lokasi dari pangkalan-pangkalan tersebut.



Gambar 3-3 Daftar LANTAMAL disekitar daerah operasi kapal *frigate*
Paparan Perencanaan Admin Pangkalan

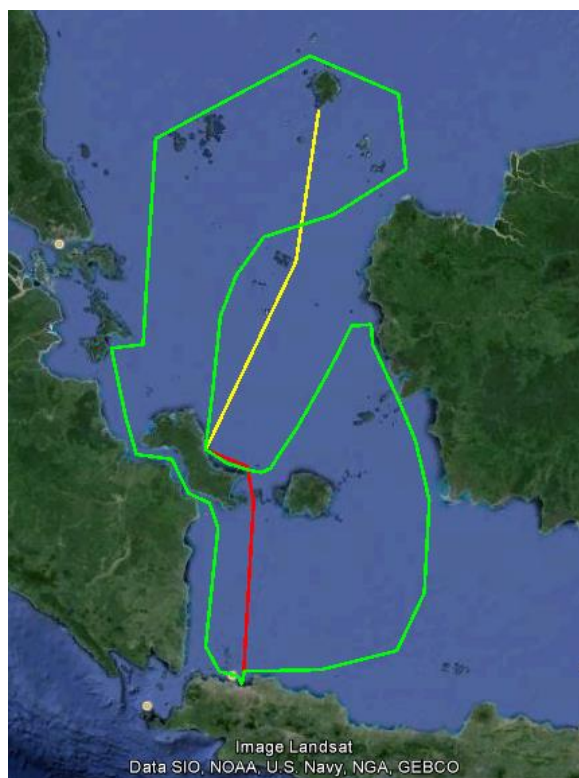


Gambar 3-4 Daftar pangkalan dari Jakarta - Tanjung Pinang
Paparan Perencanaan Admin Pangkalan

Khusus untuk pangkalan disekitar perairan natuna berikut ini fasilitas yang disediakan hanya sebatas *replenish base*. Sedangkan untuk fasilitas perbaikan dan perawatan hanya terdapat di pangkalan utama.



Gambar 3-5 Daftar pangkalan disekitar perairan Natuna
Papan Perencanaan Admin Pangkalan



Gambar 3-6 Rute operasi kapal *Multi-Role Light Frigate*
Google Earth Image Landsat

Untuk detail rute operasi/misi/penugasan kapal dapat dilihat di gambar terakhir. Pemilihan rute ini berdasarkan pada fasilitas pendukung operasi dan juga beberapa daerah kritis dimana memungkinkan munculnya ancaman baik kecil maupun besar. Rute ini terbentang mulai dari Jakarta hingga Natuna. Dan keseluruhan rute ini berada dalam pengawasan penuh KOARMABAR (Komando Armada RI Kawasan Barat). Berikut ini penjelasan mengenai rute tersebut.

- ✓ Garis Hijau = Rute Patroli Laut Kawasan Perairan Natuna
Jarak total → 2458 nm
- ✓ Garis Merah = *Short Route* untuk moda bantuan pangkalan utama
Jarak total → 304 nm
- ✓ Garis Kuning = *Short Route* untuk moda bantuan pangkalan
Jarak total → 414 nm



“what is better – to be born good or to overcome your evil nature through great effort”

BAB 4

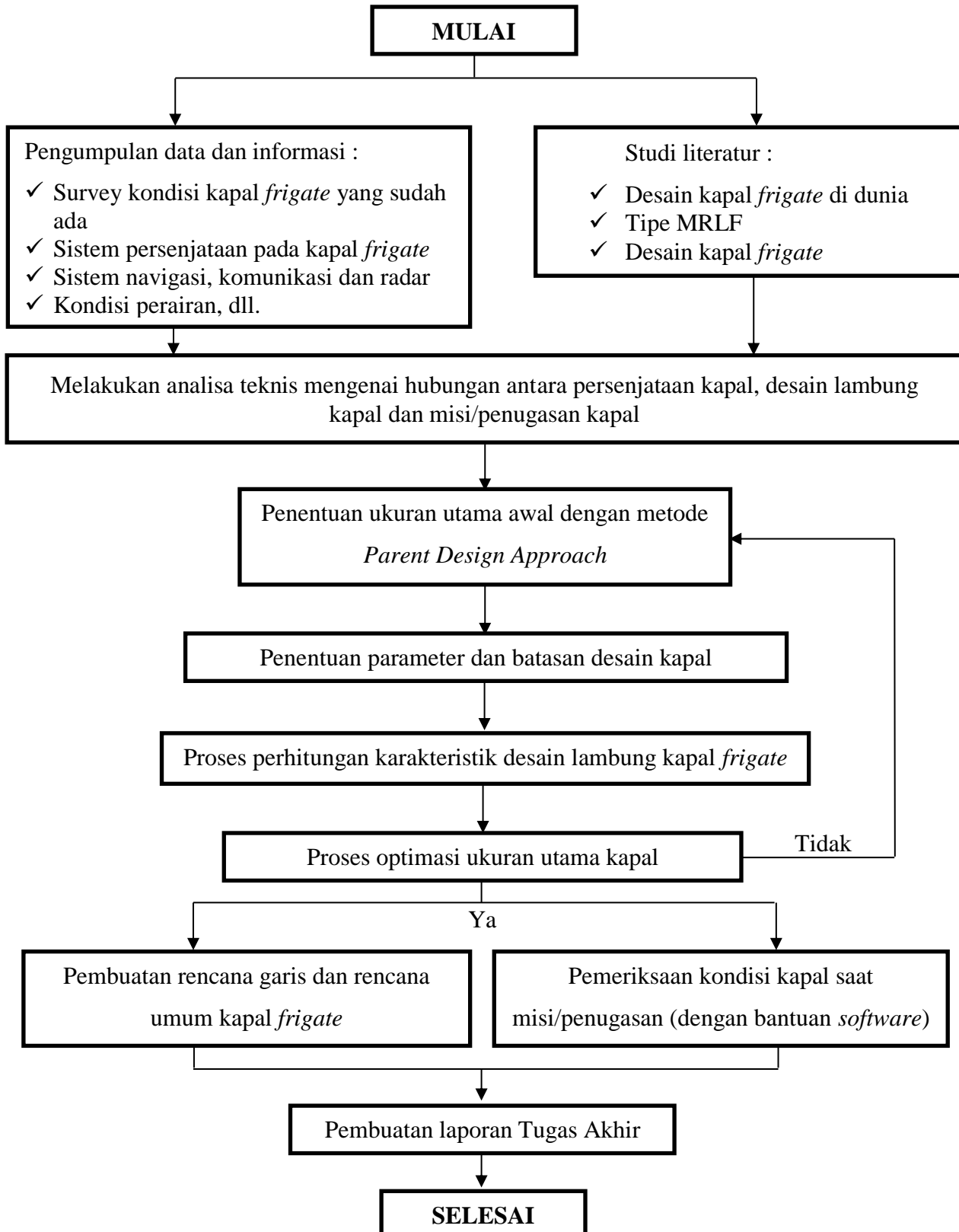
METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana langkah-langkah dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Digambarkan dengan diagram alir pengerjaan, kemudian dijelaskan setiap poin yang ada dalam diagram alir tersebut. Di dalam bab ini juga menjelaskan mengenai langkah pengerjaan Tugas Akhir mulai dari awal hingga selesai.

4.2 Diagram Alir Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam menyusun Tugas Akhir ini dapat digambarkan dalam diagram alir (*flow chart*) pengerjaan sebagai berikut :



Gambar 4-1 Alur Metodologi Penelitian

4.3 Langkah Pengerjaan

4.3.1 Pengumpulan Data dan Informasi

Pada tahap ini dilakukan proses pengambilan data primer maupun sekunder guna menunjang proses desain awal *frigate*. Data-data inilah yang akan menjadi patokan inti dari proses desain *frigate* kedepannya. Data-data yang dibutuhkan antara lain:

- Spesifikasi Teknis
Data lengkap mengenai spesifikasi kapal pembanding. Data ini didapat langsung dari LANTAMAL V Surabaya melalui serangkaian proses yang cukup rumit. Hasil yang didapat berupa spesifikasi teknis lengkap untuk tiga jenis kapal pembanding yaitu, KRI Bung Tomo – 357, KRI Fatahillah – 361 dan KRI Diponegoro – 365. Data ini bersifat terbatas dan rahasia.
- Kondisi Perairan Natuna
Data yang ingin diperoleh adalah data mengenai karakteristik perairan di sekitar Laut Natuna meliputi tinggi gelombang, kondisi cuaca rata-rata dan klasifikasi *sea state* pada perairan tersebut.
- Lokasi Pangkalan TNI AL
Data mengenai lokasi lengkap dengan spesifikasi pangkalan TNI AL di daerah operasi/misi/penugasan kapal *frigate*, khususnya wilayah perairan Natuna. Data ini bersifat terbatas dan rahasia.
- Persenjataan dan Sensor Kapal
Data mengenai jenis dan jumlah persenjataan yang ada pada kapal *frigate*. Serta data mengenai konfigurasi peletakan persenjataan dan sensor-sensor tersebut. Data ini bersifat terbatas dan rahasia.

4.3.2 Studi Literatur

Pada proses ini, penulis melakukan kajian-kajian mengenai referensi terkait dalam proses desain kapal *frigate*. Seperti rumus-rumus pendekatan terkait desain, tipe-tipe kapal *frigate* dan data-data pendukung lainnya.

4.3.3 Analisa Teknis Data Pendukung

Proses ini dilakukan setelah terkumpulnya data-data yang dibutuhkan dan ditunjang dengan proses pembelajaran literatur-literatur yang telah dilakukan sebelumnya. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan rencana data operasional kapal seperti rute operasi atau misi

atau penugasan, jenis persenjataan yang digunakan, konfigurasi tata letak persenjataan dan lain-lain.

4.3.4 Penentuan Ukuran Utama Awal

Metode yang digunakan pada tahapan ini adalah *Parent Design Approach* yaitu dengan menggunakan komparasi data kapal pembanding. Untuk pemilihan data kapal pembanding yang digunakan sebagai acuan ukuran utama awal, penulis menggunakan pertimbangan teknis dari ketiga data pembanding kapal dan dicarilah data yang paling sesuai dengan pertimbangan teknis penulis.

4.3.5 Penentuan Parameter dan Batasan Desain

Pada tahap ini ditentukannya batasan-batasan desain guna menghasilkan ukuran utama kapal yang dapat dioptimalkan nantinya. Adapun beberapa batasan tersebut antara lain, kecepatan kapal, *Froude Number*, rasio ukuran utama, koreksi displasemen, stabilitas, trim dan freeboard.

4.3.6 Perhitungan Karakteristik Kapal

Pada tahap ini dilakukan perhitungan karakteristik lambung kapal dengan menggunakan data kapal pembanding yang dipilih sebagai ukuran utama awal. Setelah perhitungan selesai maka tahapan selanjutnya yaitu optimalisasi ukuran utama dapat dilakukan.

4.3.7 Perhitungan Optimasi Ukuran Utama

Tahapan ini dapat dilakukan setelah mendapatkan ukuran utama awal dan perhitungan karakteristik kapal selesai dilakukan. Metode optimasi adalah metode yang digunakan untuk mencari harga optimum (*maximum* atau *minimum*) dari suatu fungsi matematis. Pada metode ini, fungsi tidak dapat berdiri sendiri tetapi ada batasan-batasannya atau *constraints*. Maka sebelum melaksanakan metode tersebut terlebih dahulu menentukan fungsi objektif, desain variabel, konstanta, batasan-batasan, dan parameter.

- Fungsi Objektif adalah fungsi dari desain variabel yang akan menghasilkan satu harga. Dimana pada proses ini harga hambatan total kapal dicari harga minimumnya.
- Desain Variabel adalah nilai yang ingin dicari atau dihitung berdasarkan fungsi objektifnya. Nilai yang dicari antara lain panjang, lebar, tinggi dan sarat kapal.

- Konstanta adalah nilai yang besarnya sudah ditetapkan dan tidak berubah selama proses optimasi (berat jenis air, berat jenis baja, gravitasi, dll).
- Parameter adalah nilai yang sudah ditetapkan sebagai acuan desain (perubahan ukuran utama)
- Batasan adalah nilai-nilai yang sudah ditetapkan akan standar minimum ataupun maksimumnya berdasarkan aturan atau *rule* yang berlaku (Nilai F_n , kriteria stabilitas, *freeboard*, trim, *displacement*, dan rasio).

Dengan menggunakan metode ini akan didapatkan suatu persamaan dari setiap variabel yang diukur yaitu variabel panjang (L), lebar (B), tinggi (H), dan sarat (T) terhadap ukuran kapal-kapal pemanding. Selanjutnya untuk memperoleh ukuran utama dengan cara memasukkan nilai-nilai diatas untuk dioptimalkan oleh *software*.

4.3.8 Pembuatan Desain Rencana Garis dan Rencana Umum *Frigate*

Pada proses ini didahului untuk melakukan perhitungan parameter-parameter yang sudah ditentukan pada suatu kapal dengan metode *Parametric Design Approach*. Parameter-parameter yang sudah ditentukan antara lain :

- Rasio Ukuran Utama
- *Displacement*
- Trim Kapal
- *Freeboard*
- Stabilitas

Selanjutnya dilakukan proses pembuatan rencana garis dengan bantuan *software maxsurf*. Pembuatan desain dilakukan dengan memperhatikan desain-desain *frigate* pada umumnya. Kemudian hasil rencana garis dari *maxsurf* diproses kembali dengan *software AutoCad* guna penyajian hasil desain dan dilanjutkan dengan proses pembuatan rencana umum.

4.3.9 Pemeriksaan Kondisi Khusus Kapal saat Operasi

Pada tahapan ini dilakukan proses pengecekan kondisi stabilitas dan penempatan tangki model kapal dengan bantuan *software maxsurf* atau sejenisnya. Proses ini berguna sebagai validasi hasil desain model dengan hasil perhitungan. Pada tahapan ini ukuran utama sudah dianggap final, karena proses validasi hanya bisa dilakukan apabila model atau rencana garis kapal sudah selesai dibuat.

4.3.10 Kesimpulan dan Saran

Setelah semua tahap selesai dilaksanakan maka selanjutnya ditarik kesimpulan dari analisa dan perhitungan dimana kesimpulan berupa ukuran utama kapal dan detail performa kapal *frigate*. Hal ini akan menunjukkan hasil utama dari proses desain ini.

Sedangkan saran dibuat untuk memberitahukan bagian apa yang diperlukan sebagai penyempurnaan pada proses desain ini kedepannya.



“if there is evil in this world, it lurks in the hearts of man”

BAB 5

DESAIN *MULTI-ROLE LIGHT FRIGATE*

5.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan dibahas proses pengaturan jumlah muatan dan bagaimana cara menentukan ukuran utama *frigate*. Selain itu pada bab ini akan dibahas juga perhitungan hambatan, perhitungan berat dan titik berat *frigate* perhitungan stabilitas, perhitungan *freeboard*, serta perhitungan trim. Dalam perhitungan ini terdapat kriteria-kriteria yang harus dipenuhi, seperti kriteria *Naval Ship Stability Criteria according DDS 079-1-b(1) Intact stability* dan kriteria trim untuk kapal *frigate*. Dan juga pembuatan rencana garis serta rencana umum dari ukuran optimum hasil optimasi *frigate* tersebut.

5.2 Penentuan *Payload* Berdasarkan Misi/Penugasan Kapal

Dalam mendesain kapal diperlukannya batasan desain, yang dijadikan sebagai acuan dalam proses desain. Permintaan pemilik kapal atau yang disebut *Owner Requirement* merupakan salah satu batasan desain yang harus dipenuhi oleh designer dalam proses mendesain kapal. *Owner Requirement* dalam desain kapal perang bukanlah besar daya tampung muatan, melainkan daya jelajah dan *endurance* kapal berdasarkan misi/penugasan kapal tersebut. Sebagai acuan awal untuk menentukan besar kapasitas kapal (baca : daya jelajah dan *endurance*) maka digunakanlah data dari kapal pembanding awal. Adapun data yang dimaksud adalah :

- *Displacement* Kapal minimum adalah 2300 ton (sesuai data kapal pembanding) namun atas dasar pertimbangan penulis maka, ada penambahan sekitar 10% s/d 15% sebagai koreksi tambahan berat persenjataan dan berat *consumables* guna mendukung misi/penugasan kapal. Sehingga *displacement* kapal yang digunakan adalah minimal 2600 ton. Pertimbangan ini dijelaskan langsung oleh salah satu narasumber yang bertugas sebagai SATGAS (Satuan Penugasan) Kapal Perang di ARMATIM Surabaya.

5.3 Penentuan Ukuran Utama Awal

Proses ini adalah proses awal setiap desain kapal dilakukan. Ukuran utama awal atau *Initial Design* digunakan sebagai pedoman dalam melakukan perhitungan awal sebelum nantinya dilakukan proses optimasi guna menghasilkan ukuran utama yang optimal. Kapal pembanding yang dimaksud adalah KRI Bung Tomo - 357 yaitu kapal jenis *Multi Role Light Frigate* yang dimiliki oleh Negara Kesatuan Republik Indonesia. Berikut adalah data ukuran utama kapal tersebut :

| | | |
|---------------|---------|------|
| LPP = | 96.20 | m |
| B = | 11.50 | m |
| H = | 5.20 | m |
| T = | 3.80 | m |
| Displasemen = | 2300.00 | ton |
| Vs = | 27.00 | knot |

Tabel 5-1 Ukuran Utama Awal

5.3.1 Penentuan Batasan

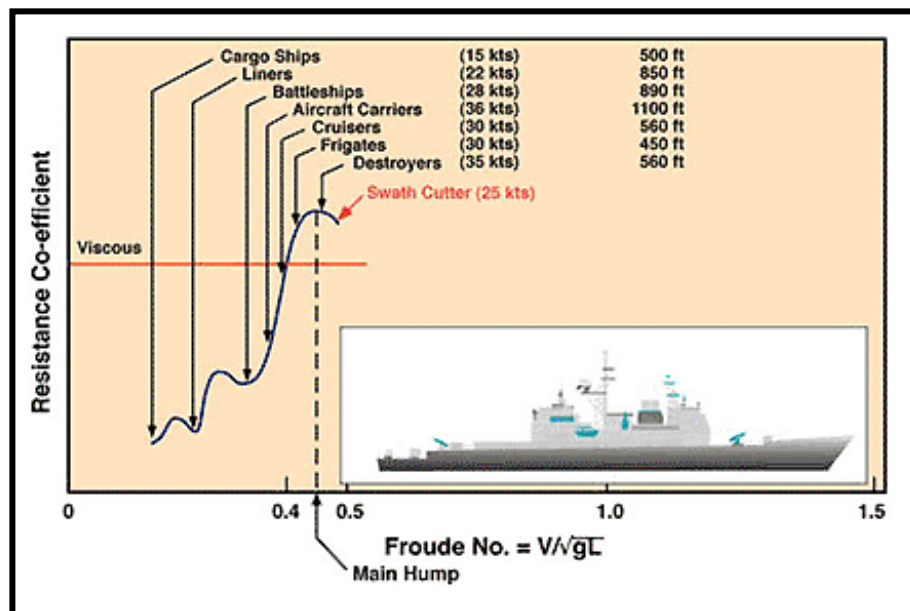
Batasan (*constraints*) adalah harga batas yang ditentukan sebelumnya agar nilai variabel tidak menyimpang dari apa yang diharapkan. Batasan-batasan yang digunakan dalam perhitungan ini adalah :

1. Kecepatan kapal maksimal

Kecepatan kapal yang dirancang adalah minimal sebesar 27 knot sesuai data kapal pembeding awal. Namun atas pertimbangan penulis guna meningkatkan performa kapal dalam melakukan pengejaran maka kecepatan kapal ditingkatkan menjadi 30 knot seperti salah satu data kapal pembeding yang juga merupakan kapal tercepat yang dimiliki TNI-AL yaitu KRI Fatahillah – 361.

2. Froude Number

Batasan F_n untuk *frigate* antara minimal 0.4 karena termasuk dalam kategori kapal cepat dengan V_s minimal 30 knot (dari data kapal pembeding).



Gambar 5-1 Rasio Froude Number dengan jenis kapal

<http://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/beginner.htm>

3. Rasio ukuran utama

Rasio ukuran utama kapal yaitu meliputi L/B , B/T , T/H . Dari kapal pembeding yang ada, didapatkan rasio sebagai berikut:

- $L/B_{min} = 6$, $L/B_{max} = 9.5$
- $B/T_{min} = 2.8$, $B/T_{max} = 3.2$
- $T/H_{min} = 0.6$, $T/H_{max} = 8.5$

4. Koreksi *Displacement*

Berat total *frigate* (DWT+LWT) yang akan dirancang harus masih berada dalam rentang displacemen hasil perhitungan ($L \times B \times T \times C_b$) sebesar 0% s/d 10%. Sesuai dengan *design margin* yang dipaparkan pada buku *Parametric Design*.

| Acquisition Margins (on light ship condition) | | |
|--|---------------|-----------|
| Total Design Weight Margin | | |
| mean | | 5.9% |
| mean plus one Standard Deviation | | 17.0% |
| Total Design KG Margin | | |
| mean | | 4.8% |
| mean plus one Standard Deviation | | 13.5% |
| Service Life Allowances (on full load departure) | | |
| Vessel Type | Weight Margin | KG margin |
| carriers | 7.5% | 0.76 m |
| other combatants | 10.0% | 0.30 m |
| auxiliary ships | 5.0% | 0.15 m |
| special ships and craft | 5.0% | 0.15 m |
| amphibious warfare vessels | | |
| large deck | 7.5% | 0.76 m |
| other | 5.0% | 0.30 m |

Gambar 5-2 *Weight Margin for Naval Ship*

Parametric Design Chapter 11

5. Batasan stabilitas

Stabilitas dapat diartikan sebagai kemampuan dari sebuah kapal untuk kembali ke keadaan semula setelah dikenai oleh gaya luar. Kemampuan itu dipengaruhi lengan dinamis (GZ) yang membentuk momen kopel yang menyeimbangkan gaya tekan ke atas dengan gaya berat. Komponen-komponen stabilitas terdiri dari GZ, KG dan GM, ketiga komponen tersebut sangat berperan penting dalam stabilitas. Dalam perhitungan stabilitas yang paling penting adalah mencari lengan dinamis (GZ).

Persyaratan stabilitas mengacu pada *Naval Ship Stability Criteria according DDS 079-1-b(1) Intact stability* untuk menghitung *intact stability*, yaitu:

- Tinggi Metacentre (MG) pada sudut oleng 0° tidak boleh kurang dari 0.3 m
- Lengan statis (GZ) pada sudut oleng $> 30^\circ$ tidak boleh kurang dari 0.30 m
- Lengan stabilitas statis (GZ) maksimum harus terjadi pada sudut oleng lebih dari 30°
- Luasan kurva dibawah lengkung lengan statis (GZ) tidak boleh kurang dari 0.08 m radian sampai dengan 30° sudut oleng
- Luasan kurva dibawah lengkung lengan statis (GZ) tidak boleh kurang dari 0.133 m radian sampai dengan 40° sudut oleng.

- Luasan kurva dibawah lengkung lengan statis (GZ) tidak boleh kurang dari 0.048 m radian dari sudut oleng 30^0 sampai 40^0 .
 - Rasio perbandingan antara lengan pembalik statis dengan lengan pembalik maksimal tidak boleh dibawah 60%
6. Batasan trim kapal
- Batasan trim maksimal adalah 0,1 % LPP.
7. Lambung timbul

Acuan yang digunakan adalah sesuai dengan yang tercantum dalam PGMI. Beberapa koreksi harus dipenuhi untuk menentukan tinggi *freeboard* minimum, yaitu koreksi lambung timbul awal, koreksi koefisien blok, koreksi tinggi, dan koreksi lengkung memanjang kapal. Koreksi bangunan atas tidak masuk dalam perhitungan karena *frigate* hanya dirancang sebatas geladak saja. Dalam kategori PGMI, *frigate* masuk ke dalam kategori B. yaitu kapal dengan muatan selain minyak. Tinggi lambung timbul aktual tidak boleh kurang dari lambung timbul hasil perhitungan.

5.3.2 Penentuan Parameter Optimasi

Dalam melakukan optimasi nantinya, parameter perubahan ukuran utama awal adalah merupakan rekapitulasi dari tiga kapal pembanding lainnya. Berikut adalah parameter perubahan ukuran utama awal saat optimasi.

| No. | Nama Kapal | Tipe Kapal | LPP (m) | B (m) | H (m) | T (m) | L/B | B/T | T/H |
|-----|----------------------|--------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | KRI BUNG TOMO - 357 | Multi Role Light Frigate | 96.20 | 11.50 | 5.20 | 3.80 | 8.365 | 3.026 | 0.731 |
| 2 | KRI FATAHILAH - 361 | Light Frigate | 78.50 | 11.10 | 6.80 | 4.20 | 7.072 | 2.643 | 0.618 |
| 3 | KRI DIPONEGORO - 365 | Corvette | 81.90 | 13.02 | 6.00 | 3.60 | 6.290 | 3.617 | 0.600 |
| MIN | | | 78.50 | 11.10 | 5.20 | 3.60 | 6.29 | 2.64 | 0.60 |
| MAX | | | 96.20 | 13.0 | 6.80 | 4.20 | 8.37 | 3.62 | 0.73 |

Gambar 5-3 Parameter perubahan ukuran utama awal

5.3.3 Penentuan Fungsi Objektif

Fungsi objektif di sini adalah hasil perhitungan hambatan kapal yang terkecil guna meminimalisir daya mesin yang dibutuhkan oleh kapal untuk mencapai kecepatan maksimum yaitu kecepatan *pursuit* (pengejaran).

5.4 Penerapan Model Optimasi *Frigate* Menggunakan *Software Excel*

Dalam mencari nilai optimum dari sekelompok data dengan dibatasi beberapa *constraint*, program *Excel* memiliki salah satu fitur yang dapat menyelesaikannya. Fitur tersebut adalah *solver*. Dengan *solver*, dapat dicari nilai optimum maksimum maupun nilai

optimum minimum. Oleh karena itu, proses optimasi *frigate* ini menggunakan fitur *solver* untuk menyelesaikannya.

5.4.1 Pembuatan Batasan

Sebelum model iterasi *solver* dibuat, terlebih dahulu dilakukan perhitungan-perhitungan yang digunakan sebagai dasar penentuan batasan dalam proses iterasi. Perhitungan awal ini menggunakan data ukuran utama awal sebagai variabelnya. Adapun perhitungan tersebut adalah sebagai berikut :

- Perhitungan koefisien karakteristik bentuk kapal
- Perhitungan hambatan kapal
- Perhitungan permesinan kapal
- Perhitungan berat kapal
- Perhitungan stabilitas
- Perhitungan trim dan lambung timbul

5.4.2 Perhitungan Hambatan *Frigate*

Perhitungan hambatan kapal menggunakan metode *Holtrop & Mennen Method*. Untuk detail perhitungan terlampir di akhir laporan.

→→→ TERLAMPIR

5.4.3 Perhitungan Permesinan *Frigate*

Pendekatan perhitungan permesinan menggunakan referensi dari *Ship Design for Efficiency and Economy-2nd Edition*. Sedangkan untuk penentuan *power margin* menggunakan *U.S. Navy Power Design Margin* yang terdapat di buku *Parametric Design, Chapter 11*. Untuk detail perhitungan terlampir di akhir perhitungan.

TABLE 11.IX - U.S. NAVY POWER DESIGN MARGINS (42)

| Category | Description | M _D |
|----------|--|----------------|
| 1a | early parametric prediction before the plan and appendage configuration | 10% |
| 1b | preliminary design prediction made the model P _E test | 8% |
| 2 | preliminary/contract design after P _S test with stock propeller and corrections | 6% |
| 3 | contract design after P _S test with model of actual propeller | 2% |

Gambar 5-4 *U.S. Navy Power Design Margin*
Parametric Design, Chapter 11

→→→ TERLAMPIR

5.4.4 Perhitungan Berat Baja *Frigate*

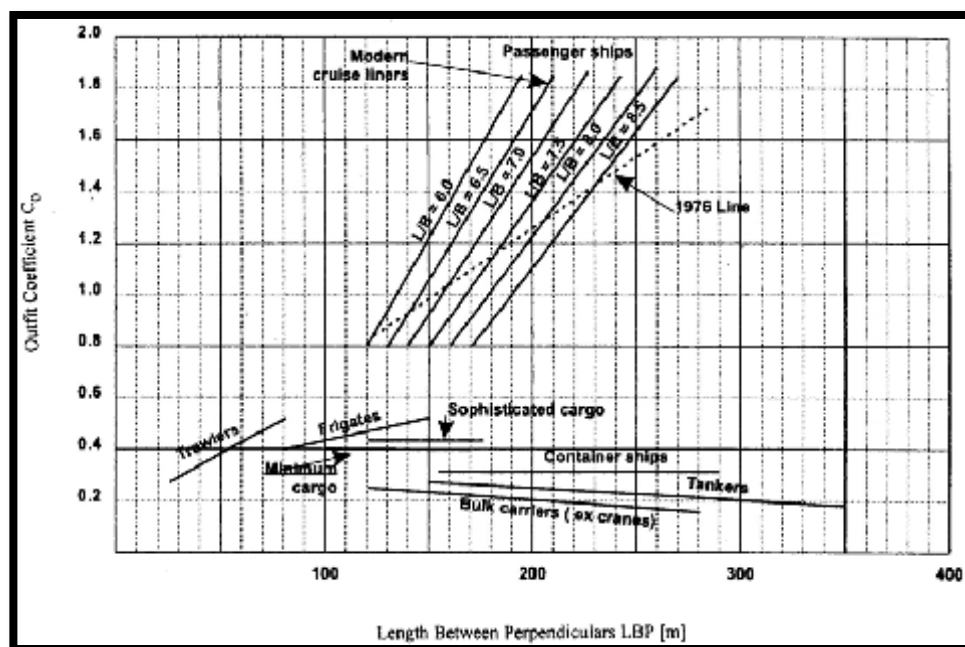
Komponen berat baja termasuk dalam kelompok LWT (*Light Weight Tonnage*). Selain berat baja, komponen lainnya yang termasuk dalam LWT adalah berat peralatan dan perlengkapan. Berikut adalah perhitungannya :

→→→ TERLAMPIR

Total kebutuhan berat baja adalah sebesar 642.494 ton. Untuk detail perhitungannya dapat dilihat pada bagian lampiran.

5.4.5 Perhitungan Peralatan dan Perlengkapan *Frigate*

Perhitungan *Equipment and Outfitting* menggunakan pendekatan dari *Parametric Design, Chapter 11*. Untuk detail perhitungan terlampir di akhir laporan.



Gambar 5-5 Grafik penentuan *Outfit Coefficient*
Parametric Design, Chapter 11

→→→ TERLAMPIR

5.4.6 Perhitungan *Crew and Consumables Frigate*

Perhitungan *Crew and Consumables* menggunakan pendekatan dari *Parametric Design, Chapter 11*. Untuk detail perhitungan terlampir di akhir laporan.

→→→ TERLAMPIR

5.4.7 Perencanaan *Tank Arrangement*

Perhitungan untuk perencanaan *Tank Arrangement* dapat dilakukan apabila rencana garis dan rencana umum kapal sudah selesai dibuat. Karena dalam perhitungan ini diperlukan tata letak ruang tangki yang sebenarnya guna validasi model kapal dengan perhitungan di akhir penelitian ini. Perencanaan *Tank Arrangement* ini dibantu oleh *software maxsurf*. Untuk detail perhitungannya terlampir.

→→→ TERLAMPIR

5.4.8 Perencanaan *Weaponary Systems and Weight Calculation*

Perhitungan untuk desain *Weaponary Systems and Weight Calculation* dapat dilakukan apabila rencana garis dan rencana umum kapal sudah selesai dibuat. Karena dalam perhitungan ini diperlukan tata letak ruang dari persenjataan yang sebenarnya guna mencari titik berat kapal sebenarnya. Untuk detail perhitungannya terlampir.

→→→ TERLAMPIR

5.4.9 Perhitungan Berat Total *Frigate*

Berikut ini hasil perhitungan total berat kapal *Multi-Role Light Frigate* :

| No | Item | | Value | Unit |
|--|------------------------|---|----------|------|
| 1 | Steel Weight | = | 642.494 | ton |
| 2 | Machinery Plant Weight | = | 117.399 | ton |
| 3 | E&O Weight | = | 461.410 | ton |
| 4 | Weaponary Weight | = | 96.151 | ton |
| 5 | Crew and Consumable | = | 1181.281 | ton |
| TOTAL = | | | 2498.736 | ton |
| <div> <div> <div>Displacement (LxBxTxCb)</div> <div>Δ = 2600.000 ton</div> </div> <div> <div>LWT = 1221.303 ton 49% dari total</div> <div>DWT = 1277.433 ton 51% dari total</div> <div>Selisih = 101.264 ton</div> <div>3.89 %</div> </div> </div> | | | | |

Tabel 5-2 Perhitungan Berat Total

5.4.10 Perhitungan Titik Berat *Frigate*

Perhitungan titik berat baja *frigate* dilakukan dengan mencari titik berat masing-masing komponen. Untuk lebih jelasnya dalam tabel berikut :

| TITIK BERAT BAJA | | |
|------------------|---------|------|
| item | value | unit |
| berat baja | 642.494 | ton |
| LCB | 46.591 | m |
| LCG_{hull} | 46.441 | m |
| VCG_{hull} | 3.75 | m |

| TITIK BERAT PERMESINAN | | |
|------------------------|---------|------|
| item | value | unit |
| berat permesinan | 117.399 | ton |
| $LCG_{permesinan}$ | 37.042 | m |
| $VCG_{permesinan}$ | 3.339 | m |

| TITIK BERAT E&O | | |
|-----------------|---------|------|
| item | value | unit |
| berat E&O | 461.410 | ton |
| $LCG_{E\&O}$ | 47.878 | m |
| $VCG_{E\&O}$ | 7.994 | m |

| TITIK BERAT PERSENJATAAN | | |
|--------------------------|-------------|------|
| item | value | unit |
| total berat | 96.1514 | ton |
| $LCG_{Persenjataan}$ | 70.57309872 | m |
| $VCG_{Persenjataan}$ | 9.156073327 | m |

| TITIK BERAT CONSUMABLE | | |
|------------------------|-------------|------|
| item | value | unit |
| total berat | 1181.28 | ton |
| $LCG_{Consumable}$ | 44.77624048 | m |
| $VCG_{Consumable}$ | 2.26981016 | m |

| TITIK BERAT GABUNGAN | | |
|----------------------|-------------|------|
| item | value | unit |
| total berat | 2498.736 | ton |
| $LCG_{Gabungan}$ | 46.40620722 | m |
| $VCG_{Gabungan}$ | 4.023926743 | m |

Tabel 5-3 Perhitungan Titik Berat Total

5.4.11 Perhitungan Trim *Frigate*

Trim adalah perbedaan tinggi sarat kapal antara sarat depan dan belakang. Sedangkan *even keel* merupakan kondisi dimana sarat belakang T_f dan sarat depan T_a adalah sama. Trim terbagi dua yaitu :

- Trim haluan
- Trim buritan

Perhitungan trim dengan rumus yang diambil dari *Parametric Design, Chapter 11* :

→→→ TERLAMPIR

Dari perhitungan, diketahui bahwa *frigate* mengalami trim buritan sebesar 0.14308 m, dan ini tidak melebihi 0.1% LPP. Maka ukuran utama yang dihasilkan dari iterasi solver telah memenuhi kriteria trim.

5.4.12 Perhitungan Stabilitas *Frigate*

→→→ TERLAMPIR

Detail perhitungan stabilitas dapat dilihat di lampiran. Batasan yang digunakan untuk stabilitas menggunakan standar *Naval Ship Stability Criteria according DDS 079-1-b(1) Intact stability* untuk menghitung *intact stability*. Berikut adalah pemeriksaan hasil hitungan yang telah dibandingkan dengan batasannya :

- Tinggi Metacentre (MG) pada sudut oleng 0° : tidak boleh kurang dari 0.3 m, hasil optimisasi MG = 4.895272 m (memenuhi).
- Lengan statis (GZ) pada sudut oleng $> 30^\circ$ tidak boleh kurang dari 0.30 m, hasil optimisasi GZ = 6.6269 m (memenuhi).
- Lengan stabilitas statis (GZ) maksimum harus terjadi pada sudut oleng tidak boleh kurang dari 30° , hasil optimisasi GZ maks terjadi pada sudut 81° (memenuhi).
- Luasan bidang yang terletak dibawah lengkung lengan statis (GZ) diantara sudut oleng 30° dan 40° tidak boleh kurang dari 0.048 m radian, hasil optimisasinya adalah 0.069 m (memenuhi).
- Lengan statis (GZ) tidak boleh kurang dari 0.080 m radian sampai dengan 30° sudut oleng, hasil optimisasinya adalah 0.312 m (memenuhi).
- Lengan statis (GZ) tidak boleh kurang dari 0.133 m radian sampai dengan 40° sudut oleng, hasil optimisasinya adalah 0.382 m (memenuhi).

Dari hasil pemeriksaan diatas maka telah dibuktikan bahwa ukuran utama yang dihasilkan dari proses iterasi solver telah memenuhi semua kriteria stabilitas.

5.4.13 Perhitungan *Freeboard Frigate*

→→→ TERLAMPIR

Dari perhitungan batasan yang telah dibuat didapat nilai lambung timbul minimum adalah 1.0625 m. Lambung timbul hasil iterasi yang didapatkan dari variasi H–T didapat nilai 2.6977 m. Jadi lambung timbul *frigate* telah memenuhi standar.

5.4.14 Running Model Iterasi *Solver Frigate*

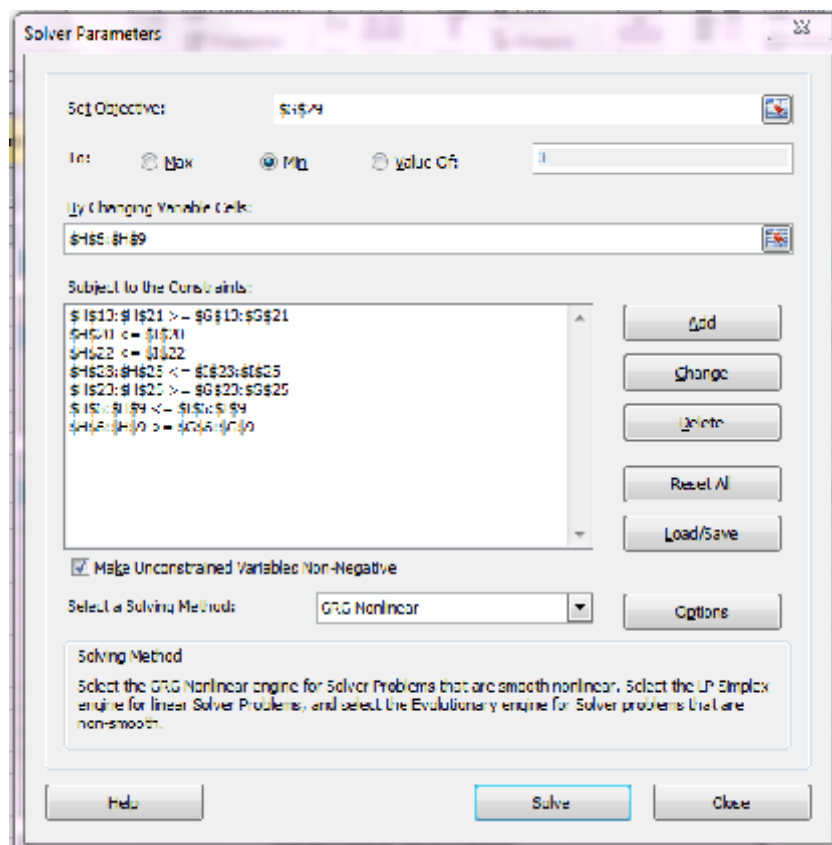
Setelah semua batasan dan perhitungan awal selesai dibuat, selanjutnya adalah membuat model *solver* untuk memperoleh ukuran utama yang optimum. Langkah – langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Membuat model *solver* dimana di dalamnya terdapat *value* yang akan dicari, batasan yang telah ditentukan sebelumnya, dan fungsi objektif sebagai acuan untuk proses iterasi. Model yang dibuat pada penelitian ini tampak seperti gambar di bawah

| PROSES OPTIMASI PERENCANAAN FRIGATE | | | | | | | |
|-------------------------------------|--|-------|-------------|---------|-------------------|-------|----------|
| CHANGING VARIABLE | | | | | | | |
| | Item | Unit | Symbol | Min | Value | Max | Remark |
| Ukuran Utama | Panjang | m | L | 78.50 | 96.05 | 96.20 | ACCEPTED |
| | Lebar | m | B | 11.10 | 12.01 | 13.02 | ACCEPTED |
| | Tinggi | m | H | 5.20 | 6.75 | 6.80 | ACCEPTED |
| | Sarat | m | T | 3.60 | 4.05 | 4.20 | ACCEPTED |
| CONSTRAINT | | | | | | | |
| Syarat Teknis | Item | Unit | Symbol | Min | Value | Max | Remark |
| Froude Number | $Fn = V/(g \cdot L_{pp})^{0.5}$ | | | 0 | 0.493 | | ACCEPTED |
| Stabilitas | MG pada sudut oleng 0^0 | m | MG_0 | 0.3 | 6.101 | | ACCEPTED |
| | Lengan statis pada sudut oleng $>30^0$ | m | LS_{30} | 0.3 | 8.607 | | ACCEPTED |
| | Sudut kemiringan pada LS maksimum | deg | LS_{maks} | 30 | 84.247 | | ACCEPTED |
| | Lengan dinamis pada 30^0 | m.rad | Ld_{30} | 0.080 | 0.401 | | ACCEPTED |
| | Lengan dinamis pada 40^0 | m.rad | Ld_{40} | 0.133 | 0.502 | | ACCEPTED |
| | Luas Kurva GZ antara $30^0 - 40^0$ | m.rad | | 0.048 | 0.101 | | ACCEPTED |
| Displacement | Koreksi Displacement | % | | 0% | 0.100 | 10% | ACCEPTED |
| | Harga Displacement | ton | | 2600 | 2600.000 | | ACCEPTED |
| Freeboard | F_s | m | F | | 1.063 | 2.70 | ACCEPTED |
| Rasio | | | L/B | 8.000 | 8.000 | 9.500 | ACCEPTED |
| | | | B/T | 2.800 | 2.966 | 3.200 | ACCEPTED |
| | | | T/H | 0.600 | 0.600 | 0.850 | ACCEPTED |
| OBJECTIVE FUNCTION | | | | | | | |
| | Item | Unit | Symbol | Value | | | |
| | Hambatan Total Kapal | kN | | 803.479 | <---- Target Cell | | |

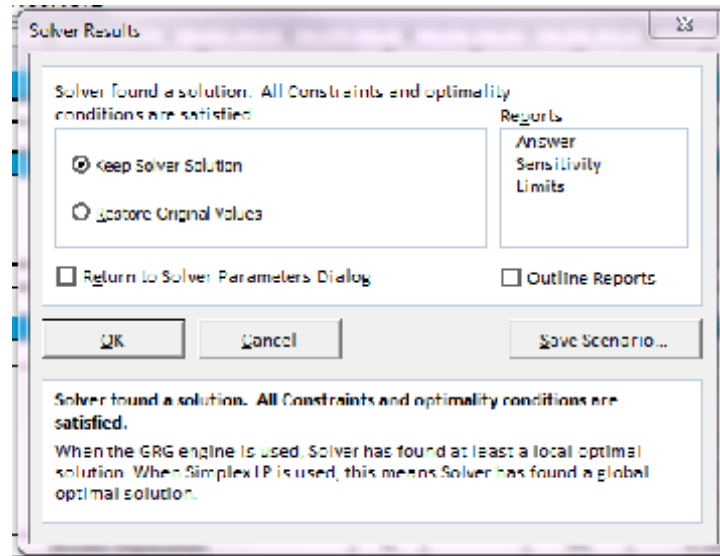
Gambar 5-6 *Interface* proses optimasi desain *frigate*

2. Setelah model selesai dibuat selanjutnya adalah melakukan *running model*. Fasilitas *solver* dapat diakses melalui *toolbar data - solver*. Selanjutnya akan muncul tampilan *Solver Parameters*. Pada menu *set target cell*, set pada *cell Hambatan Total Kapal*. Dimana pencarian dipilih minimum karena akan dicari hambatan kapal yang paling rendah. Untuk *menu by changing variable* dipilih variabel yang akan dicari yaitu L, B, T, H. Kemudian pada *menu subject to the constraints* dimasukkan semua nilai minimum dan maksimum yang berfungsi sebagai batasan dari proses iterasi. Tampilan *solver* ketika dilakukan proses *running* akan tampak seperti gambar di bawah ini :



Gambar 5-7 *Solver Parameters* saat melakukan optimasi

3. Setelah semua telah terisi, langkah selanjutnya adalah melakukan proses *running solver* dengan. Apabila iterasi yang dilakukan memenuhi semua batasan yang diberikan maka akan muncul pemberitahuan bahwa *solver* telah menemukan solusi untuk model yang dibuat.



Gambar 5-8 *Solver Results* saat melakukan optimasi

Variabel yang didapatkan dari proses *running solver* yang telah dilakukan adalah:

Lpp = 96.06 meter

B = 12.01 meter

H = 6.74 meter

T = 4.05 meter

Perlu diketahui dari hasil *running solver* diatas didapatkan ukuran kapal yang lebih besar dari ukuran utama awal (*Initial Design*). Hal ini dikarenakan ada penambahan displasemen kapal yang semula sebesar 2300 menjadi 2600 ton. Akan tetapi, ukuran utama hasil dari *running solver* tersebut sudah bisa dianggap yang paling optimal dikarenakan adanya proses pengoptimalan ukuran utama kapal dalam proses *running solver*.

5.5 Pembuatan Rencana Garis dan Rencana Umum *Frigate*

Dalam proses merancang sebuah kapal maka yang pertama dilakukan adalah pembuatan rencana garis. Dalam pembuatan rencana garis ini digunakan *software maxsurf*. Caranya adalah dengan perpaduan antara *maxsurf* dengan *AutoCad*. Pada program *maxsurf* yang akan dilakukan adalah proses pemodelan kapal sedangkan pada program *AutoCad* adalah penyajian datanya.

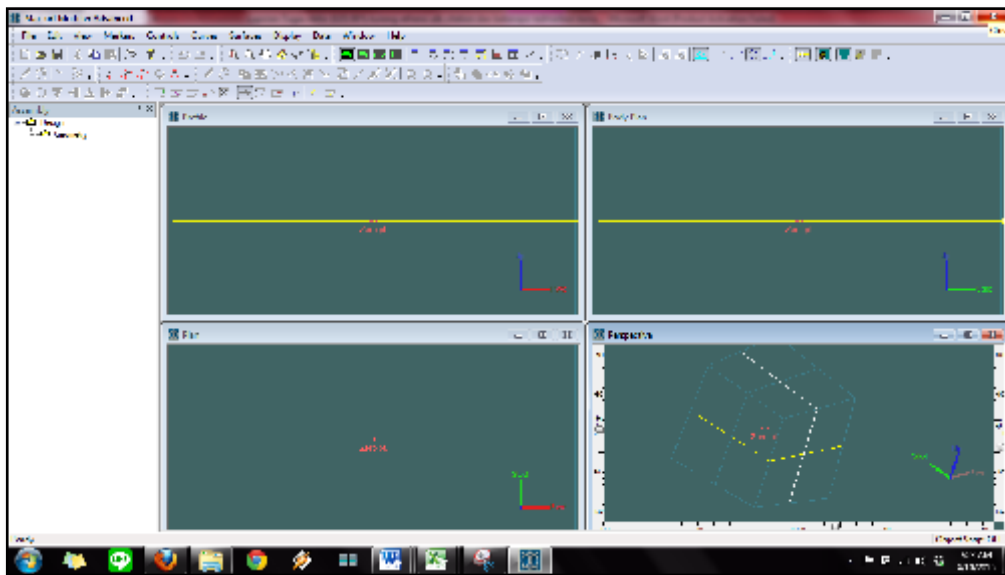
Dalam proses desain *frigate* ini, pembuatan rencana garis di *maxsurf* dilakukan dengan membuat *surface* baru. *Surface* tersebut diatur sedemikian rupa agar didapatkan bentuk kapal yang sesuai. Panjang, lebar, tinggi dan sarat disesuaikan dengan ukuran utama yang telah didapatkan dari proses *optimasi solver*.

Pembuatan rencana umum dilakukan sepenuhnya menggunakan *software Autocad*. Ukuran pembagian ruang dan sekat berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya. Mengenai peralatan dan perlengkapan berdasarkan ketentuan yang berlaku.

5.5.1 Rencana Garis *Frigate*

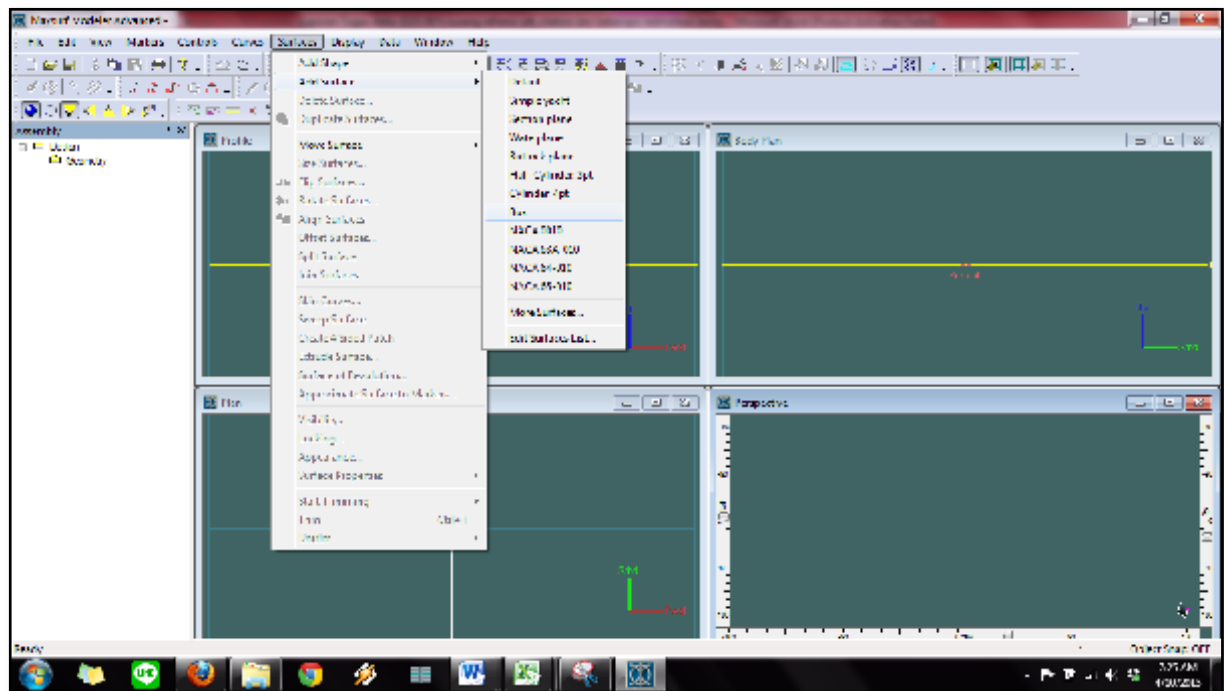
Proses pemodelan rencana garis ini menggunakan bantuan *software maxsurf*. Dengan menggunakan bantuan *software* ini akan mempersingkat proses pemodelan dibandingkan dengan metode lainnya. Selain itu, *software maxsurf* juga memiliki tingkat ketelitian yang tinggi. Berikut akan dijelaskan mengenai urutan cara pembuatan model kapal di *software maxsurf*.

- 1) Siapkan data parameter ukuran kapal yang telah melalui proses optimasi sebelumnya
- 2) Jalankan *software maxsurf* dan pahami terlebih dahulu fitur-fitur yang ada.

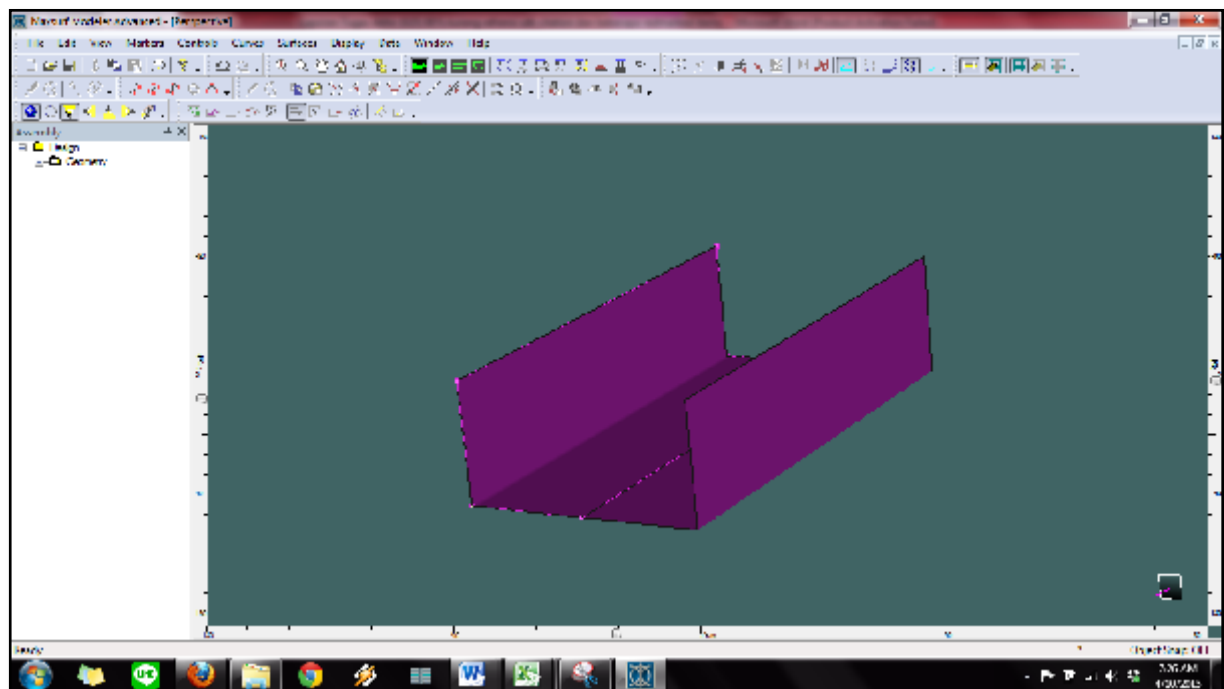


Gambar 5-9 Interface *software maxsurf*

- 3) Pada pemodelan kali ini akan digunakan sebuah *surface* berupa *box* yang nantinya akan dibentuk menyerupai karakteristik kapal yang akan didesain. Cara ini merupakan salah satu dari berbagai cara untuk memodelkan sebuah kapal.

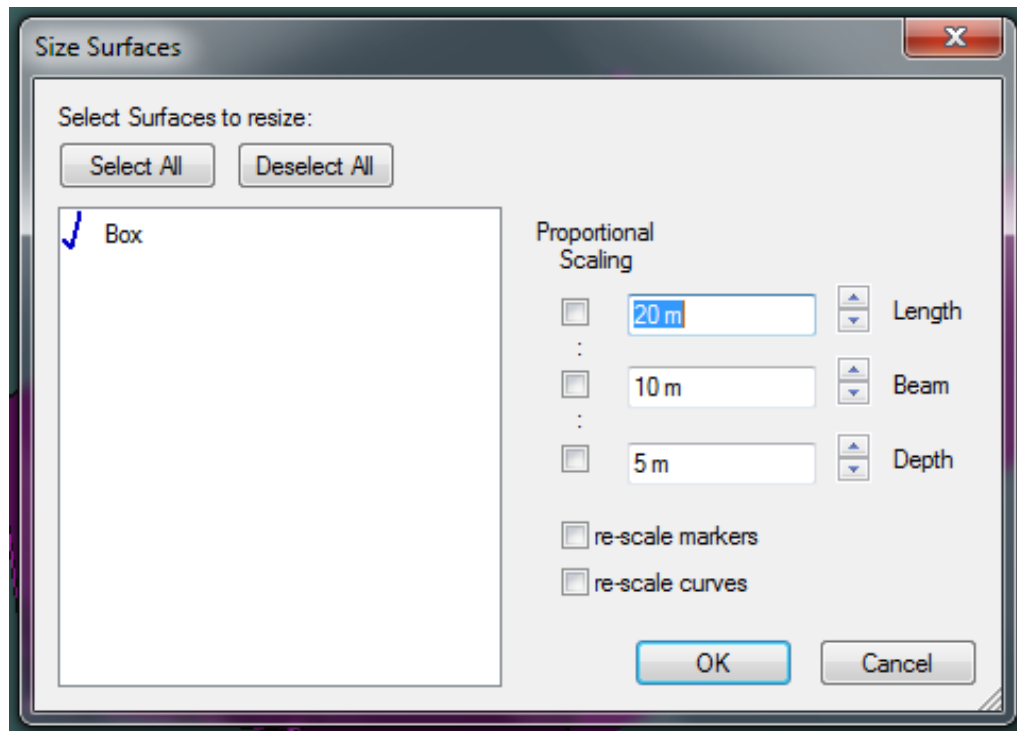


Gambar 5-10 Pemilihan *surface box*



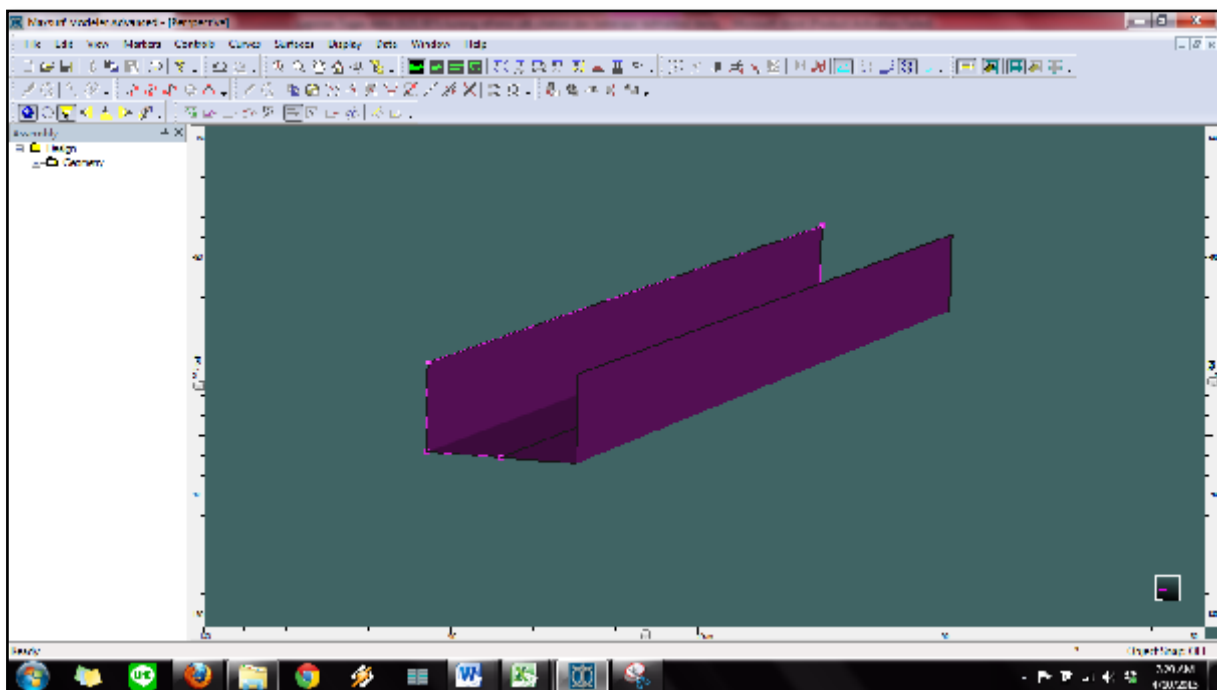
Gambar 5-11 Contoh *surface box* awal

- 4) Setelah menampilkan *surface box* yang dimaksud, kemudian diaturlah parameter ukuran utama yang disiapkan sebelumnya. Pengaturan ini berguna untuk membatasi ukuran model kapal yang akan dibuat. Pastikan semua ukuran yang ada sudah dimasukkan kedalam *software maxsurf*.



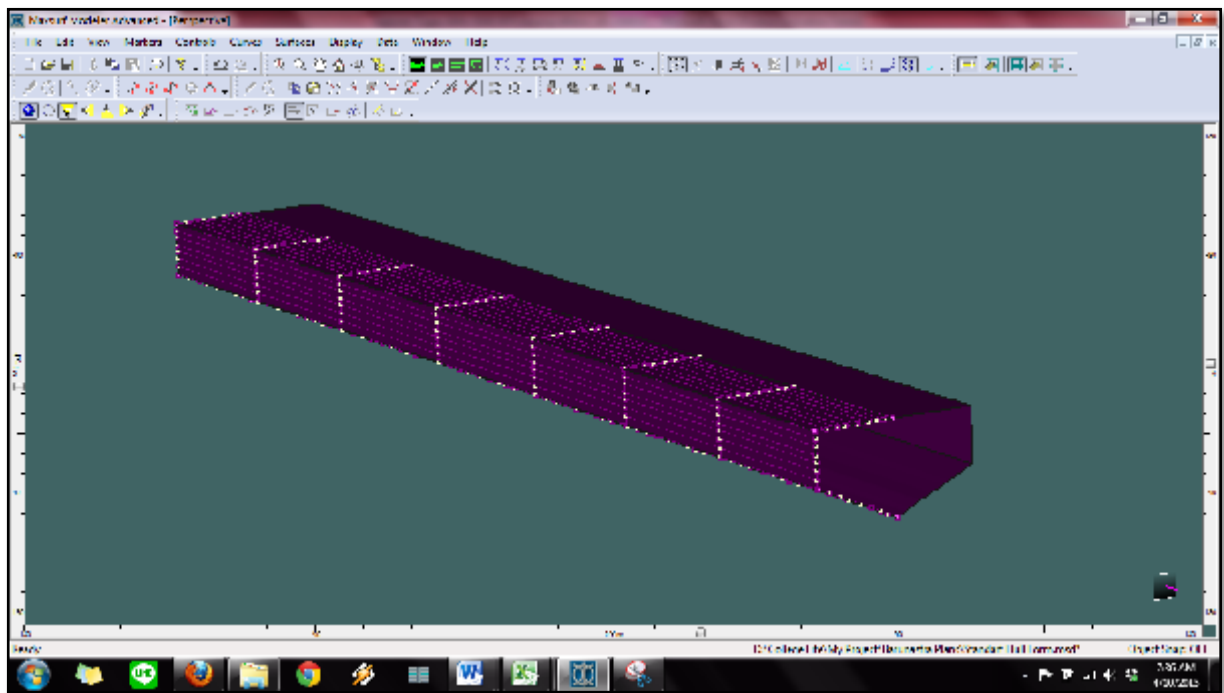
Gambar 5-12 Interface untuk input ukuran utama

- 5) Setelah *input* data ukuran utama selesai, selanjutnya adalah melakukan proses pemodelan. Bentuk *surface box* yang sedemikian rupa dibentuk hingga menjadi bentuk kapal yang diinginkan.

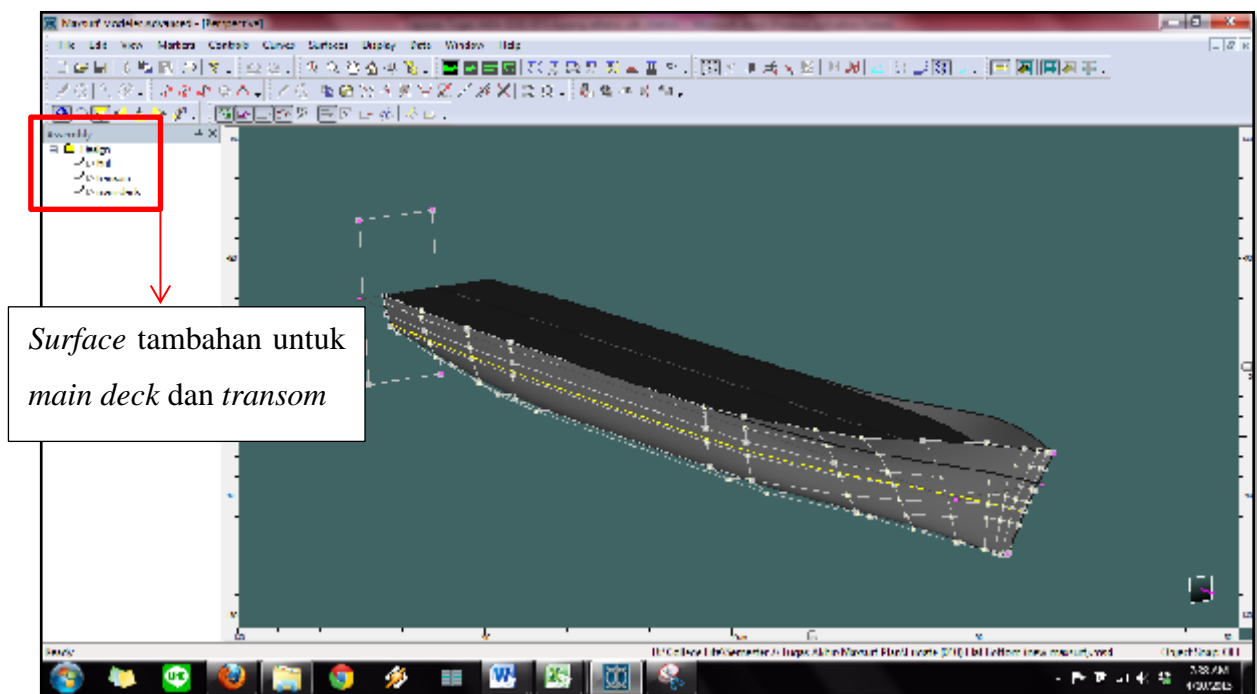


Gambar 5-13 *Surface box* setelah diberi ukuran utama

- 6) Dilakukan pembentukan lambung kapal



Gambar 5-14 Pembentukan *control point* pada pemodelan



Gambar 5-15 Model selesai dibentuk

- 7) Dalam pembentukan lambung kapal ini ada beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain, koefisien bentuk lambung, letak titik apung dan displasemen kapal. Pengecekan kondisi-kondisi ini bisa dilakukan dengan bantuan *hydrostatic calculation* yang terdapat di dalam *software maxsurf*.

Hydrostatics at DWL

| | Measurement | Value | Units |
|----|----------------------------|----------|---------------------------|
| 1 | Displacement | 2175 | |
| 2 | Volume (displaced) | 2122.038 | |
| 3 | Draft Amidships | 3.600 | |
| 4 | Immersed depth | 3.600 | |
| 5 | WL Length | 90.753 | |
| 6 | Beam max extents on WL | 10.861 | |
| 7 | Beam max on WL | 10.861 | |
| 8 | Wetted Area | 1139.181 | |
| 9 | Max sect. area | 32.794 | |
| 10 | Waterpl. Area | 784.226 | |
| 11 | Prismatic coeff. (Cp) | 0.713 | |
| 12 | Block coeff. (Cb) | 0.598 | |
| 13 | Max Sect. area coeff. (Cm) | 0.839 | |
| 14 | Waterpl. area coeff. (Cwp) | 0.796 | |
| 15 | LCB length | 37.794 | from zero pt. (+ve fwd) |
| 16 | LCF length | 35.893 | from zero pt. (+ve fwd) |
| 17 | LCB % | 41.645 | from zero pt. (+ve fwd) % |
| 18 | LCF % | 39.550 | from zero pt. (+ve fwd) % |
| 19 | KB | 2.107 | |
| 20 | KG fluid | 0.000 | |
| 21 | BMT | 3.044 | |
| 22 | BML | 180.066 | |
| 23 | GMt corrected | 5.152 | |
| 24 | GML | 182.173 | |
| 25 | KMt | 5.152 | |
| 26 | KML | 182.173 | |
| 27 | Immersion (TPC) | 8.038 | tonne/m |
| 28 | MTc | 45.225 | tonne |

Density (water)

Std. densities

VCG

Gambar 5-16 Interface untuk pengecekan kondisi hidrostatik kapal

Bagian yang diberi kotak merah merupakan parameter kritis yang harus dipenuhi.

Adapun koreksi perbedaan untuk masing-masing ialah :

- Displasemen kapal sebesar maksimal 1%
- LWL (*Length of Water Line*) sebesar maksimal 1%
- LCB (*Longitudinal Center of Buoyancy*) sebesar maksimal 0.1%

- 8) Apabila proses pembentukan lambung kapal telah selesai dan kondisi-kondisi batas kapal telah dipenuhi seluruhnya maka tahap selanjutnya adalah membuat rencana garis kapal.

| | Measurement | Value | Units |
|----|----------------------------|----------|---------------------------|
| 1 | Displacement | 2623 | |
| 2 | Volume (displaced) | 2558.685 | |
| 3 | Draft Amidships | 4.050 | |
| 4 | Immersed depth | 4.050 | |
| 5 | WL Length | 100.208 | |
| 6 | Beam max extents on WL | 11.908 | |
| 7 | Beam max on WL | 11.908 | |
| 8 | Wetted Area | 1385.814 | |
| 9 | Max sect. area | 38.009 | |
| 10 | Waterpl. Area | 952.354 | |
| 11 | Prismatic coeff. (Cp) | 0.672 | |
| 12 | Block coeff. (Cb) | 0.529 | |
| 13 | Max Sect. area coeff. (Cm) | 0.792 | |
| 14 | Waterpl. area coeff. (Cwp) | 0.798 | |
| 15 | LCB length | 46.584 | from zero pt. (+ve fwd) |
| 16 | LCF length | 42.766 | from zero pt. (+ve fwd) |
| 17 | LCB % | 46.487 | from zero pt. (+ve fwd) % |
| 18 | LCF % | 42.677 | from zero pt. (+ve fwd) % |
| 19 | KB | 2.500 | |
| 20 | KG fluid | 0.000 | |
| 21 | BMT | 3.718 | |
| 22 | BML | 222.386 | |
| 23 | GMt corrected | 6.218 | |
| 24 | GML | 224.886 | |
| 25 | KMt | 6.218 | |
| 26 | KML | 224.886 | |
| 27 | Immersion (TPc) | 9.762 | ton |
| 28 | MTc | 58.855 | ton |

Density (water)

Std. densities

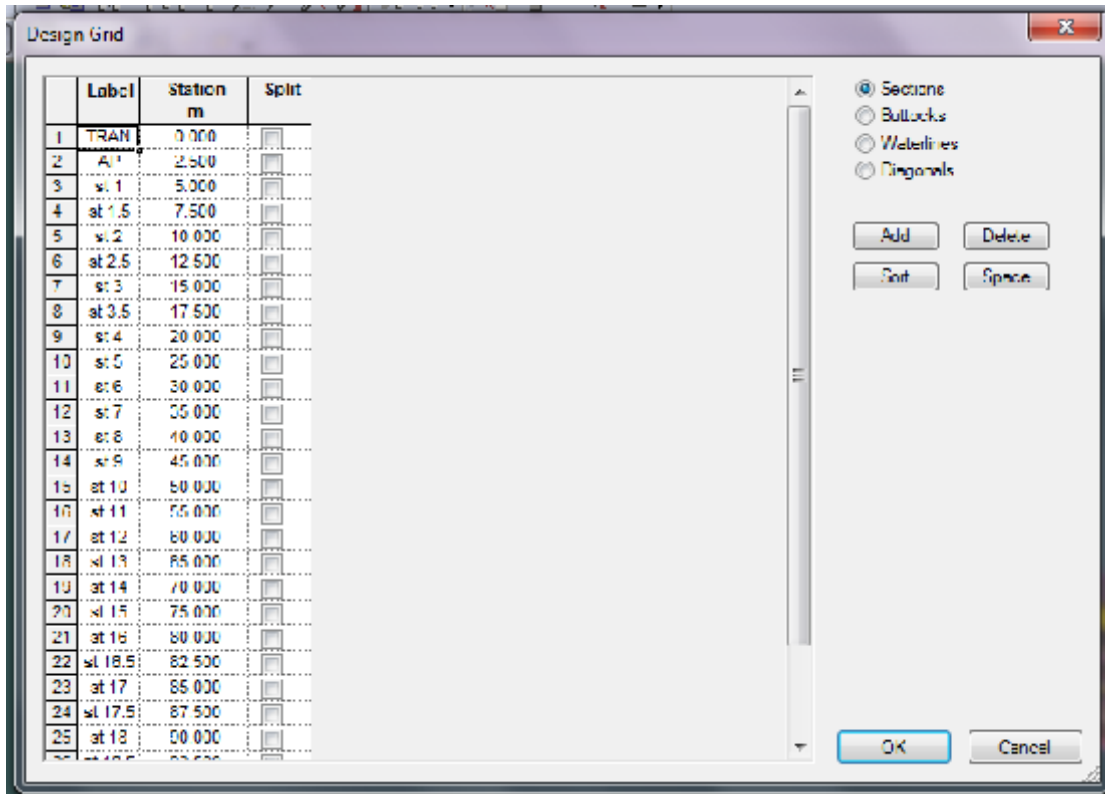
VCG

Gambar 5-17 Kondisi hidrostatik kapal yang sesuai koreksi

Dapat dilihat ketiga parameter telah memenuhi koreksi yang ada yaitu :

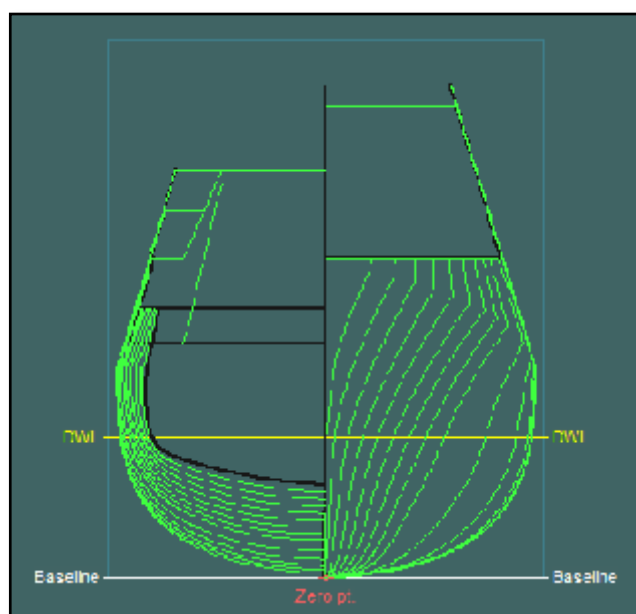
- Displasemen kapal = 2623 ton (parameter = 2600 ton, koreksi = 0.877%)
- LWL = 100.208 meter (parameter = 99.90 meter, koreksi = 0.301%)
- LCB = 46.584 meter dari AP (parameter = 49.590 meter, koreksi = 0.015%)

- 9) Dengan menggunakan fitur *design grid* kita dapat membuat garis-garis proyeksi seperti *body plan*, *sheer plan*, dan *half-breath plan* seperti yang ada pada rencana garis umumnya.

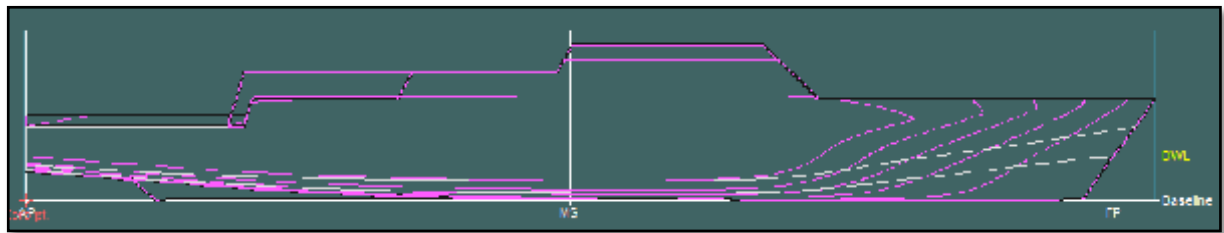


Gambar 5-18 Interface fitur *design grid*

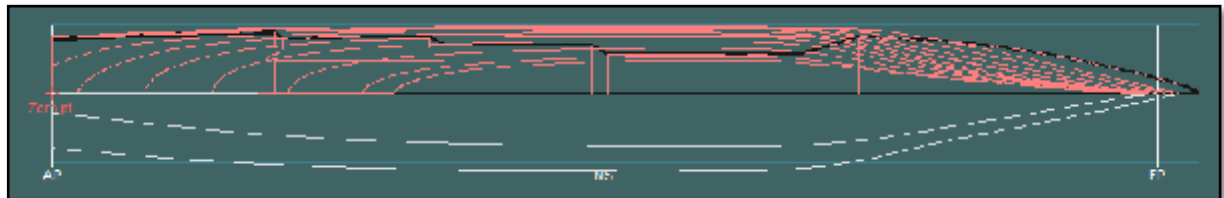
- 10) Setelah garis-garis proyeksi jadi maka model kapal bisa di *export* ke *software* selanjutnya untuk tahapan pembuatan rencana umum.



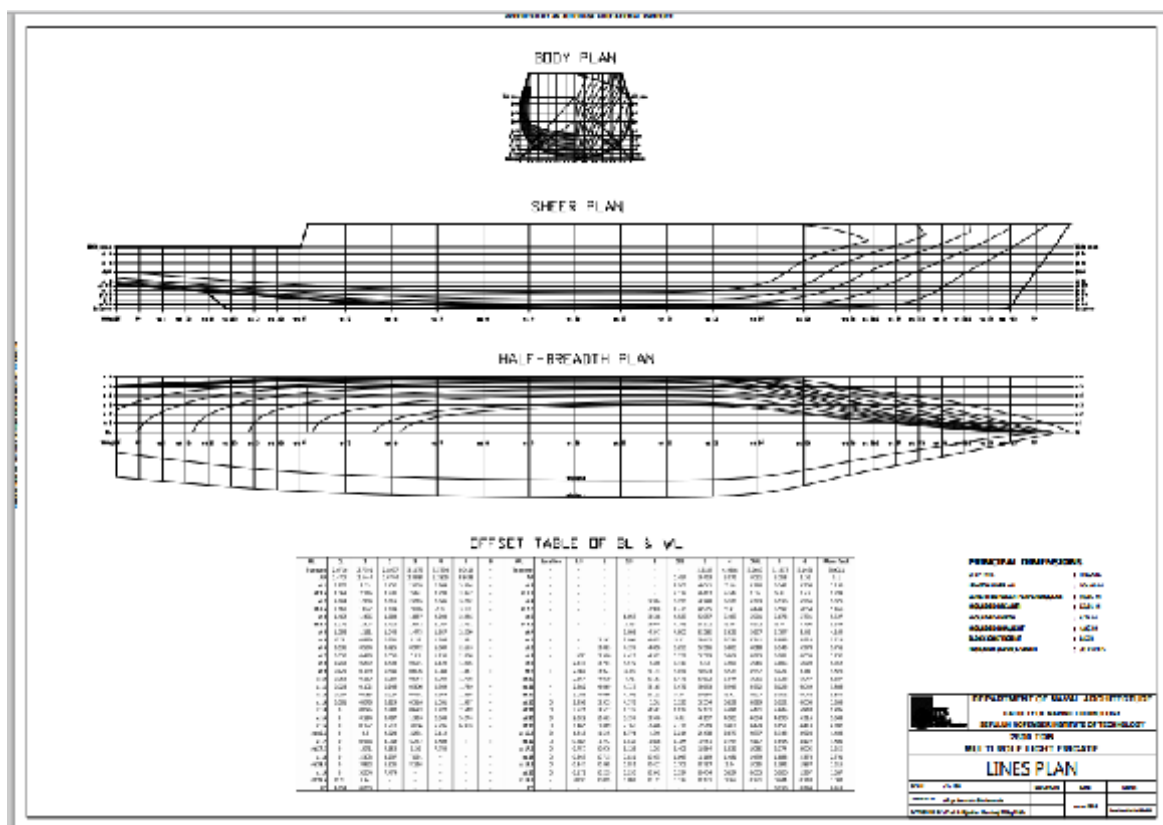
Gambar 5-19 *Body plan* model kapal



Gambar 5-20 *Sheer plan* model kapal



Gambar 5-21 *Half-breadth plan* model kapal

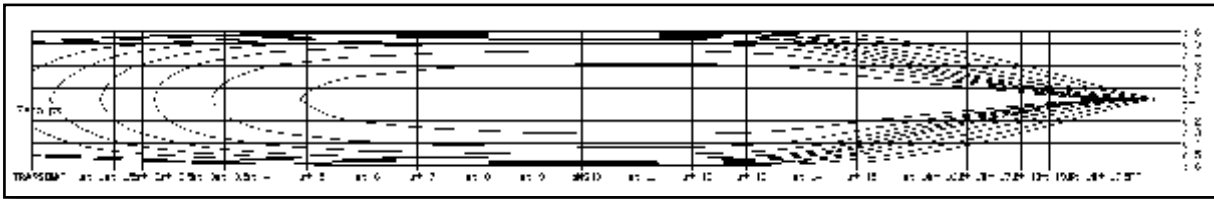


Gambar 5-22 Rencana Garis *Multi-Role Light Frigate*

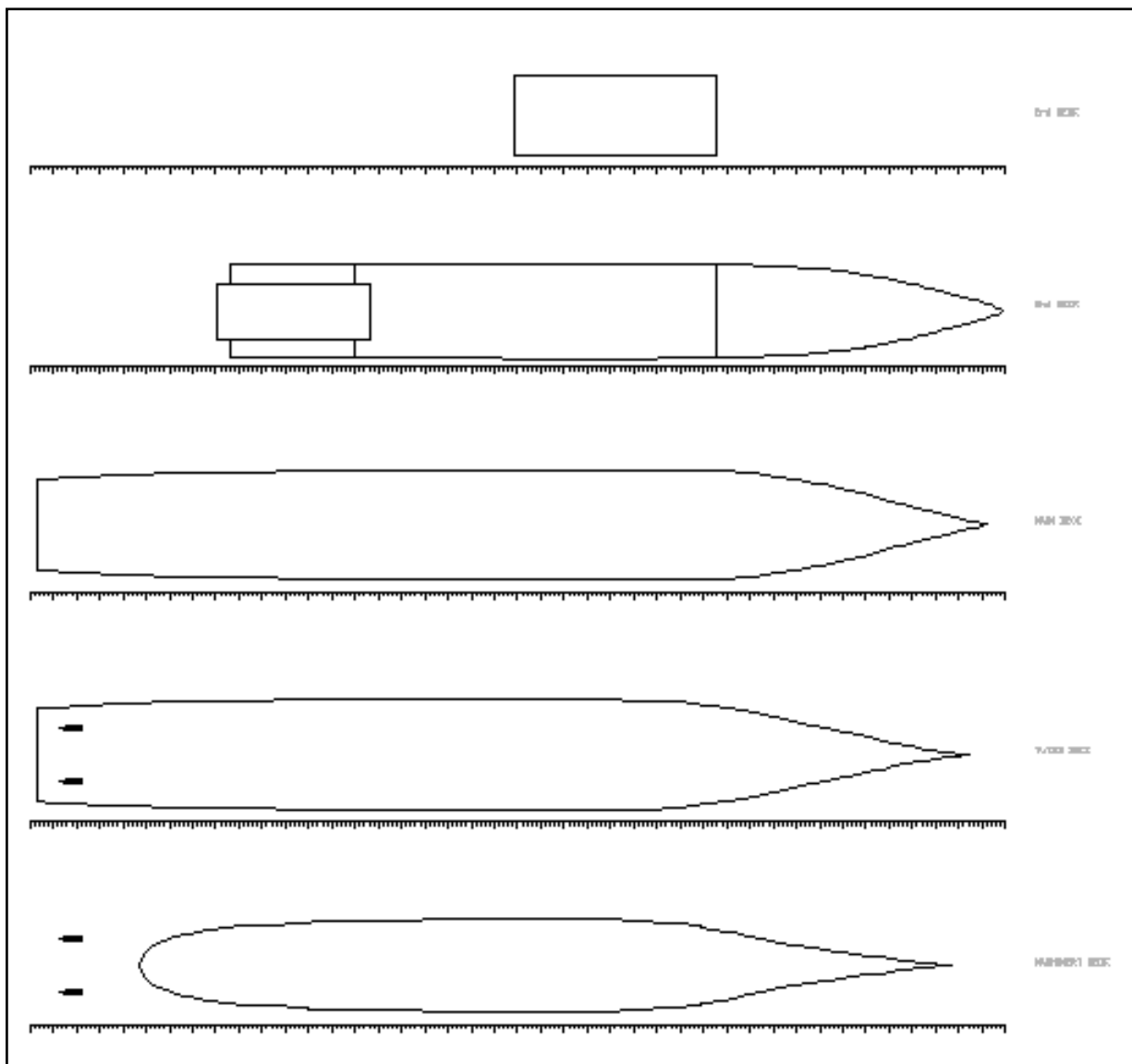
5.5.2 Rencana Umum *Frigate*

Setelah rencana garis didapat maka selanjutnya pembuatan tata letak ruang atau biasa disebut rencana umum. Pada tahapan ini digunakan bantuan *software AutoCAD* guna mempermudah proses pengerjaan. Dengan *software AutoCAD* juga lah nantinya proses *ploting* atau *printing* gambar dilakukan. Berikut adalah langkah-langkah pengerjaannya.

- 1) Mula-mula siapkan rencana garis yang telah di *export* sebelumnya dari *software maxsurf*.
- 2) Setelah itu tentukan *layout* masing-masing dek, seperti *machinery deck*, *main deck*, *2nd deck* dan *3rd deck*.



Gambar 5-23 *Layout* diambil dari *waterline* rencana garis



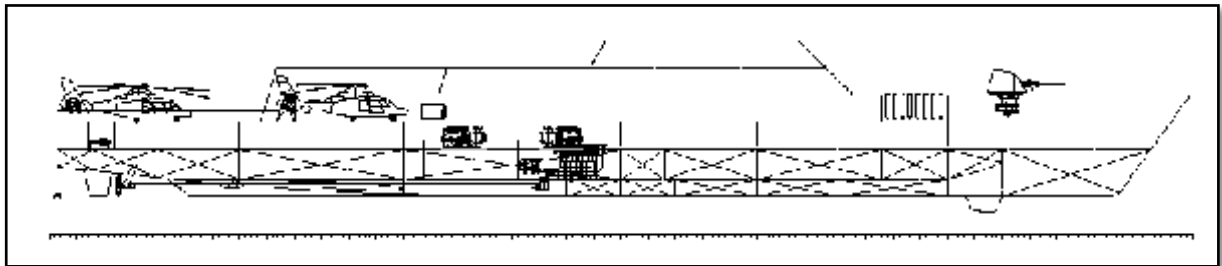
Gambar 5-24 *Layout* tiap dek

- 3) Lalu lakukan pembagian sekat sesuai dengan standar yang ada. Untuk model kali ini penulis menggunakan standar dari BKI tentang *Watertight Subdivision*.

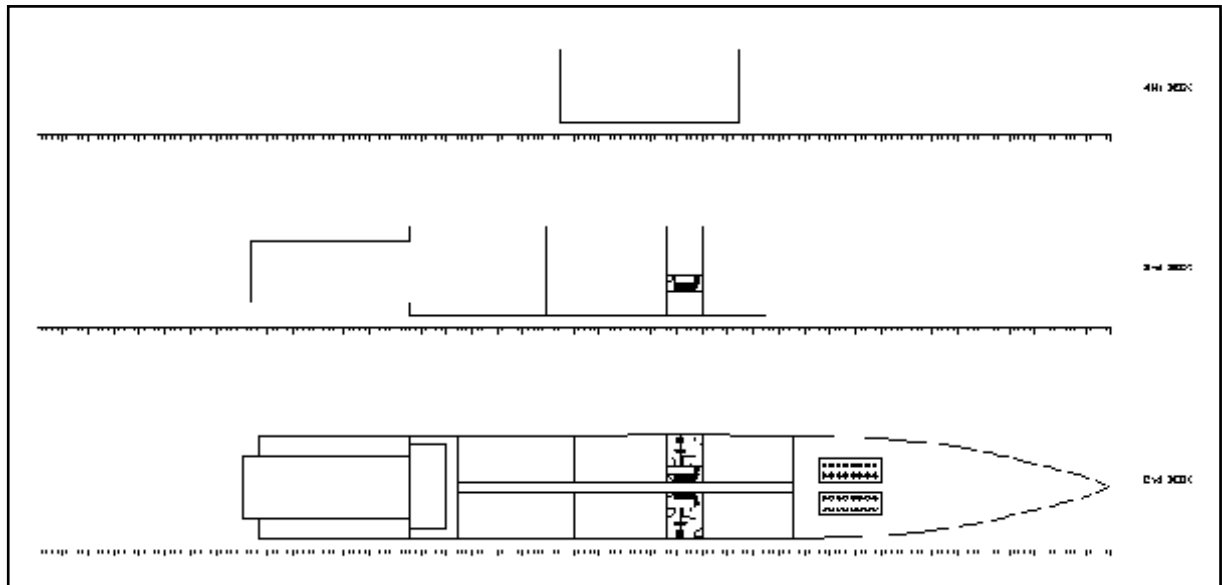
| L [m] | Arrangement of machinery space | |
|--------------------|--------------------------------|-----------|
| | aft | elsewhere |
| $L \leq 65$ | 3 | 4 |
| $65 < L \leq 85$ | 4 | 4 |
| $85 < L \leq 105$ | 4 | 5 |
| $105 < L \leq 125$ | 5 | 6 |
| $125 < L \leq 145$ | 6 | 7 |
| $145 < L \leq 165$ | 7 | 8 |
| $165 < L \leq 185$ | 8 | 9 |
| $L > 185$ | to be special considered | |

Gambar 5-25 Watertight Subdivision

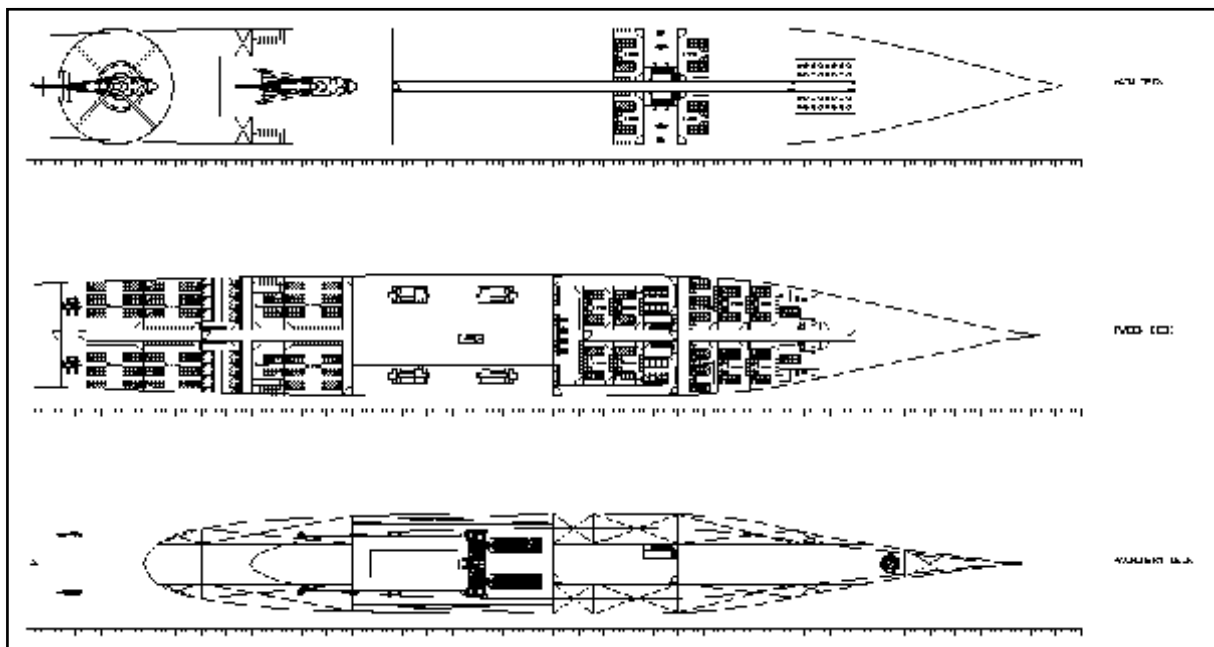
- 4) Setelah itu lakukan desain tata letak ruangan di tiap *layout*.



Gambar 5-26 Pembuatan Side View Layout

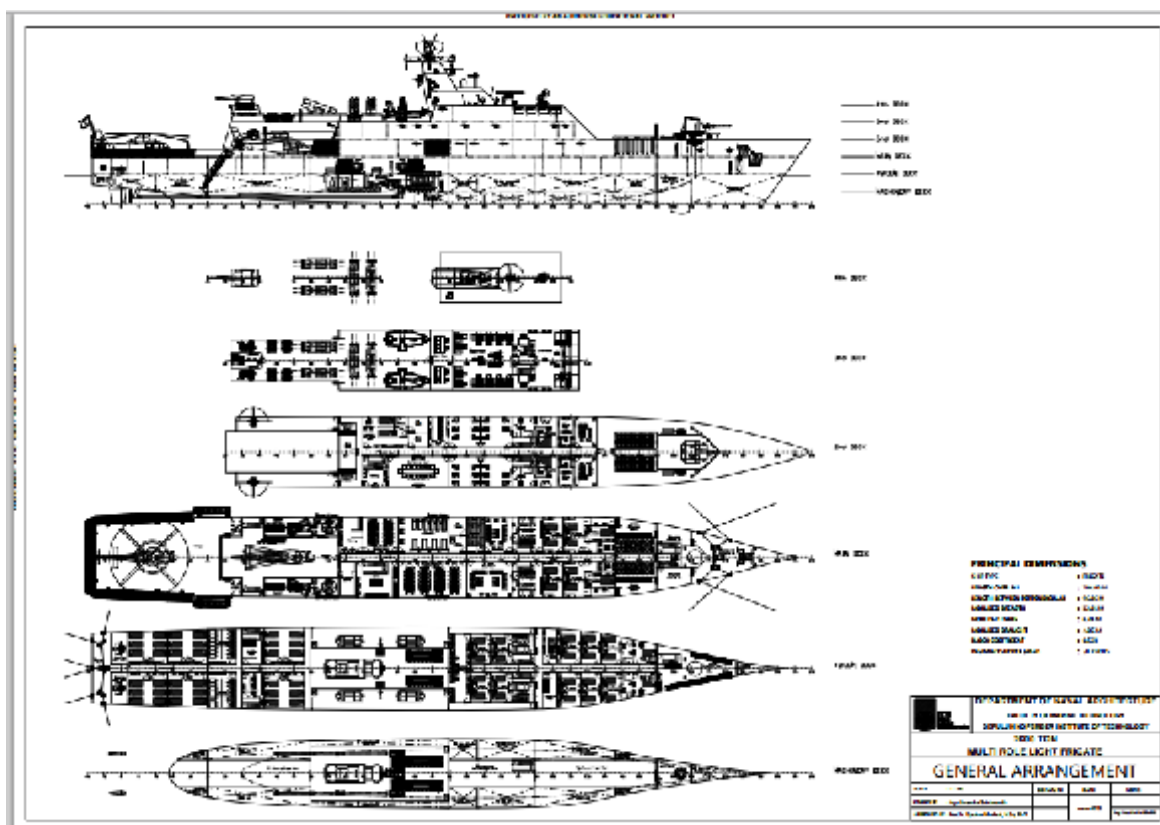


Gambar 5-27 Pembuatan Deckhouse Layout



Gambar 5-28 Pembuatan *Superstructure Layout*

5) Setelah selesai maka proses *ploting* atau *printing* bisa dilakukan.

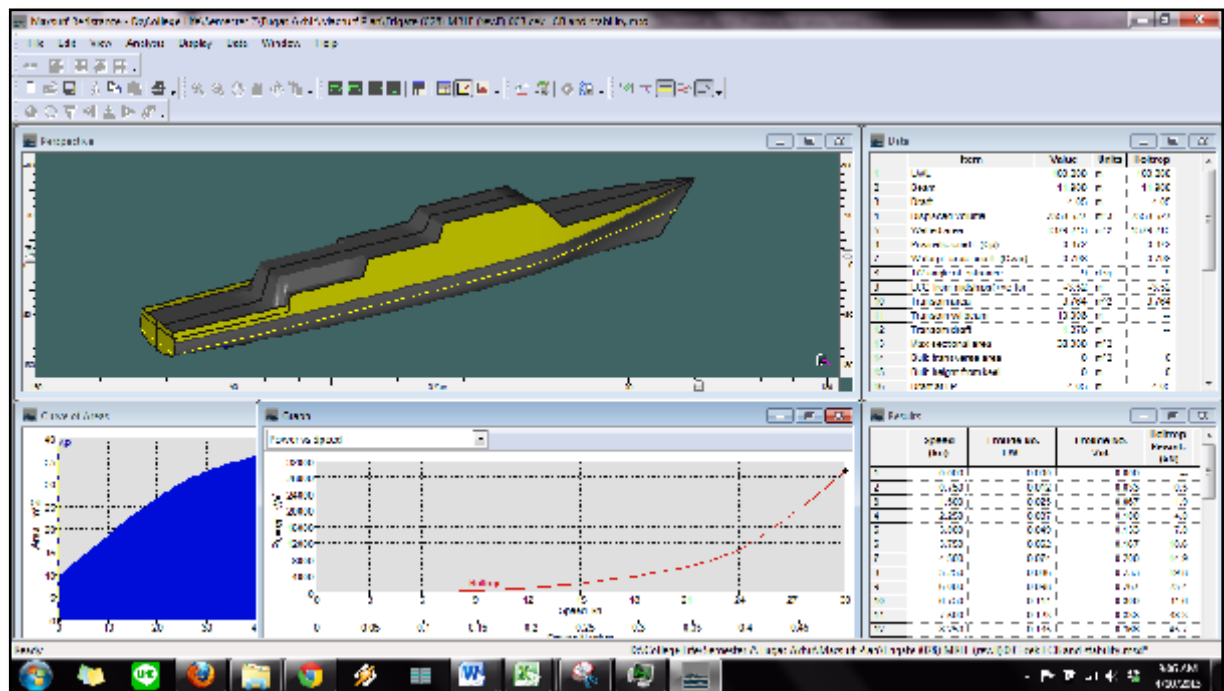


Gambar 5-29 Rencana Umum *Multi-Role Light Frigate*

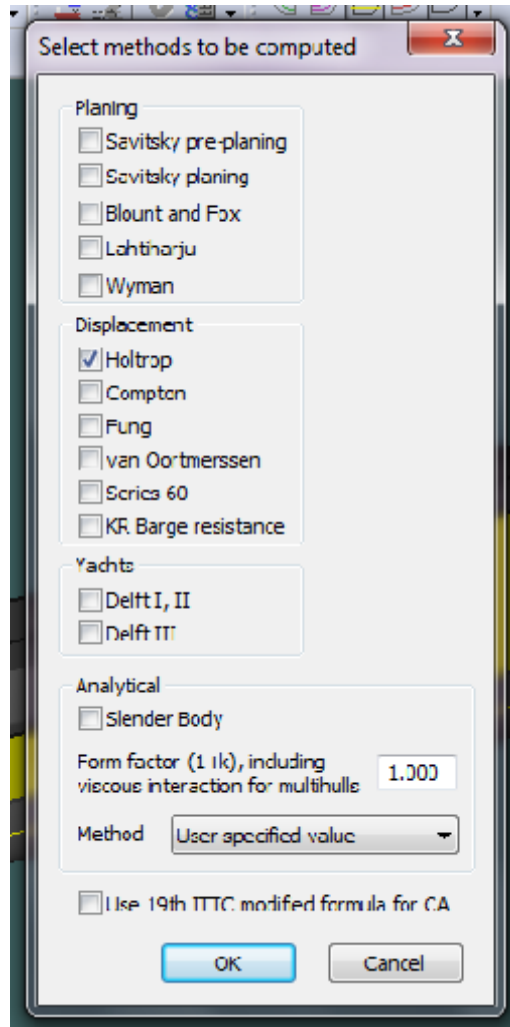
5.6 Pemeriksaan Kondisi Kapal (Validasi Model)

Langkah terakhir dari Tugas Akhir ini adalah pengecekan model kapal atau validasi model dengan perhitungan. Dalam melakukan validasi ini yang diperlukan antara lain adalah rencana garis *final*, rencana umum *final*, perhitungan *final*, *tank arrangement scheme* dan *stability criteria*. Proses validasi ini menggunakan bantuan *software maxsurf*. Berbeda dengan proses pemodelan, kali ini *software* yang digunakan adalah *software* untuk analisa model kapal. Berikut ini adalah langkah-langkah pengerjaannya.

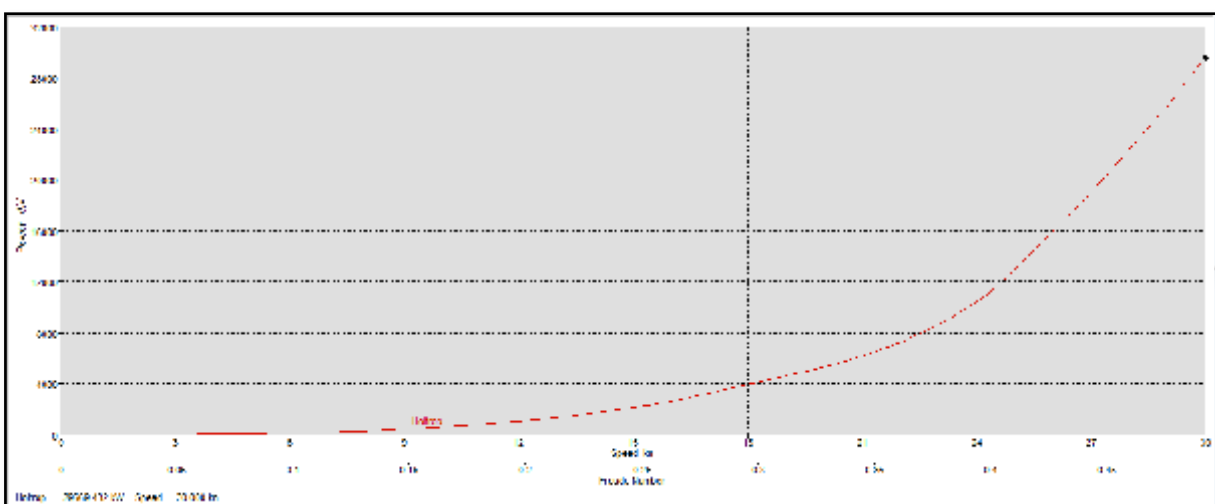
- 1) Mula-mula, kumpulkan semua data yang diperlukan.
- 2) Selanjutnya jalankan *software maxsurf* yang dimaksud.
- 3) Untuk validasi *powering* kapal menggunakan analisa hambatan. Sedangkan untuk validasi stabilitas kapal menggunakan analisa *heeling angle*.
- 4) Berikut ini *screenshot* analisa hambatan model kapal sebenarnya.



Gambar 5-30 Interface analisa hambatan dan powering model kapal



Gambar 5-31 Interface pemilihan metode perhitungan hambatan model kapal



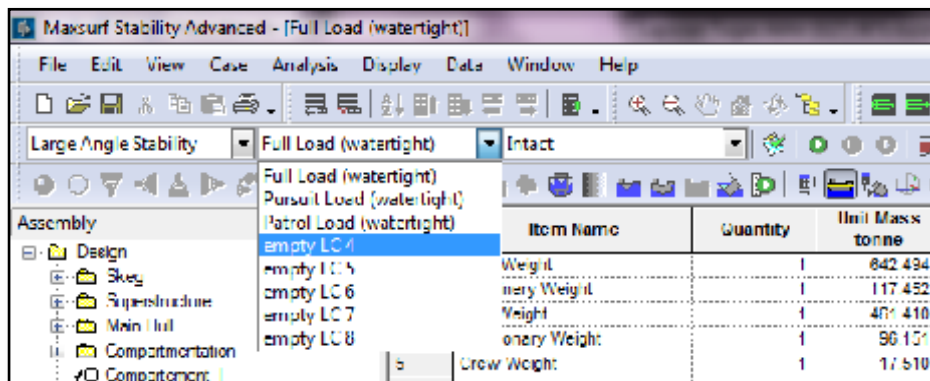
Gambar 5-32 Hasil grafik antara kecepatan model dengan *powering*

| | Holtrop X kn | Holtrop Y kW |
|----|-----------------|-----------------|
| 47 | 17.625000 | 3695.392045 |
| 48 | 18.000000 | 3947.416834 |
| 49 | 18.375000 | 4197.836784 |
| 50 | 18.750000 | 4447.727903 |
| 51 | 19.125000 | 4700.100900 |
| 52 | 19.500000 | 4959.000040 |
| 53 | 19.875000 | 5231.100174 |
| 54 | 20.250000 | 5510.004860 |
| 55 | 20.625000 | 5831.370420 |
| 56 | 21.000000 | 6170.389315 |
| 57 | 21.375000 | 6541.832810 |
| 58 | 21.750000 | 6950.674211 |
| 59 | 22.125000 | 7401.571111 |
| 60 | 22.500000 | 7899.059926 |
| 61 | 22.875000 | 8447.384537 |
| 62 | 23.250000 | 9050.356558 |
| 63 | 23.625000 | 9711.066384 |
| 64 | 24.000000 | 10431.85731 |
| 65 | 24.375000 | 11214.01620 |
| 66 | 24.750000 | 12251.70307 |
| 67 | 25.125000 | 13355.02524 |
| 68 | 25.500000 | 14404.10606 |
| 69 | 25.875000 | 15519.12785 |
| 70 | 26.250000 | 16659.72791 |
| 71 | 26.625000 | 17825.89919 |
| 72 | 27.000000 | 19017.54148 |
| 73 | 27.375000 | 20234.54871 |
| 74 | 27.750000 | 21476.81181 |
| 75 | 28.125000 | 22744.21725 |
| 76 | 28.500000 | 24038.64731 |
| 77 | 28.875000 | 25353.96012 |
| 78 | 29.250000 | 26735.20643 |
| 79 | 29.625000 | 28106.00414 |
| 80 | 30.000000 | 29669.43209 |

Gambar 5-33 Pembacaan grafik kecepatan vs *powering*

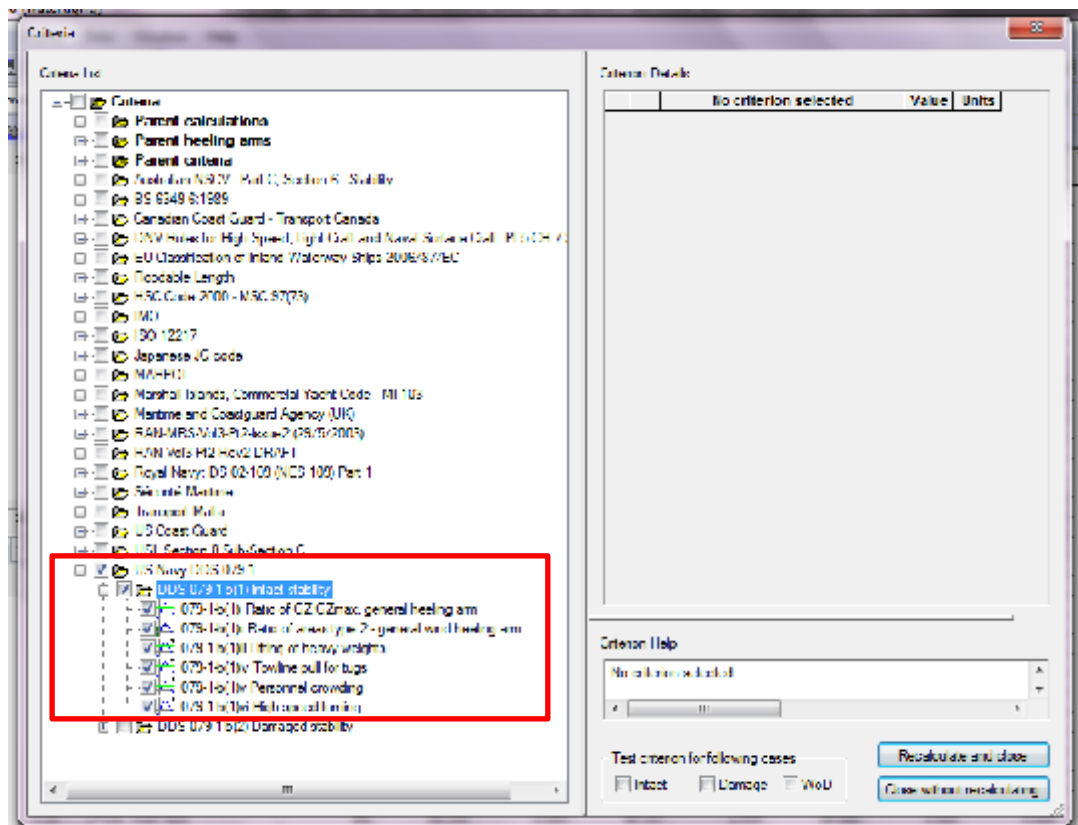
Dari proses validasi *powering* model kapal didapatkan daya sebesar 29669.43209 kW untuk model agar bisa melaju sebesar 30 knot.

5) Berikut ini *screenshot* analisa *heeling angle* model kapal.

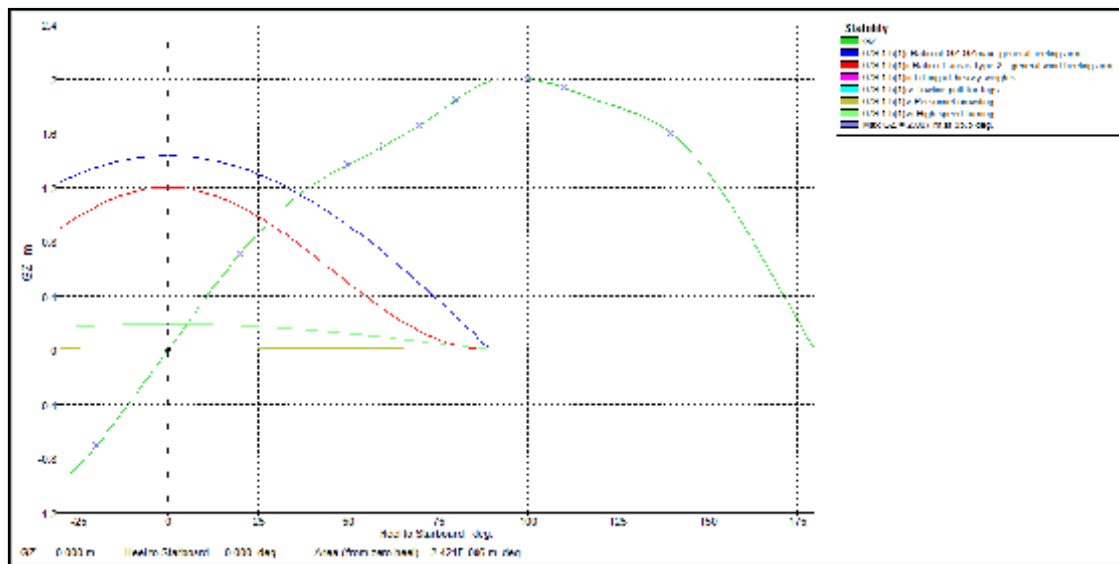


Gambar 5-36 Penambahan kondisi loading model kapal

Pada tahapan ini, pengujian stabilitas menggunakan tiga kondisi kapal antara lain *Full Load*, *Pursuit Load* dan *Patrol Load*. Kondisi *Full Load* adalah kondisi dimana kapal dalam keadaan bahan bakar penuh dan baru akan berangkat dari pangkalan. Kemudian untuk kondisi *Pursuit Load* adalah kondisi dimana kapal sedang melakukan pengejaran dengan kecepatan kapal 30 knot. Lalu untuk kondisi *Patrol Load* adalah kondisi dimana kapal melakukan patroli perairan dengan kecepatan 15 knot.



Gambar 5-37 Pemilihan kriteria stabilitas



Gambar 5-38 Kurva stabilitas setelah program selesai di *running*

Dari hasil pembacaan kurva didapatkan *heeling angle* maksimal adalah sebesar 95.5° .

- 6) Kemudian dilakukan analisa perbandingan antara kondisi model dengan perhitungan. Hasil dari model harus lebih tinggi performanya dibandingkan dengan hasil perhitungan. Karena sebagai *room of error* dalam melakukan perhitungan yang sebagian besar menggunakan pendekatan.



"to infinity . . . and beyond"

BAB 6

PENUTUP

6.1 Pendahuluan

Pada bab terakhir ini berisi beberapa hal meliputi hasil kesimpulan dan seluruh proses desain *Multi-Role Light Frigate* yang telah dilakukan dan dibahas pada bab sebelumnya serta berisikan saran akan penelitian Tugas Akhir selanjutnya.

6.2 Kesimpulan

Dari hasil proses perhitungan optimasi yang memenuhi kriteria-kriteria dan proses desain, maka didapatkan ukuran utama *Multi-Role Light Frigate* yaitu :

>> L (Panjang) = 96.06 m

>> B (Lebar) = 12.01 m

>> H (Tinggi) = 6.74 m

$$\gg T(\text{Sarat}) = 4.05 \text{ m}$$

Untuk hasil desain *lines plan* dan *general arrangement*, terlampir di akhir laporan ini. Sedangkan untuk performa kapal didapatkan keterangan sebagai berikut :

- ✓ Kecepatan Pengejaran = 30 knot
- ✓ Kecepatan Jelajah = 15 knot
- ✓ Jarak Jelajah maksimal (tanpa *replenish*) = 2500 nm
- ✓ Jarak Pengejaran maksimal (tanpa *replenish*) = 500 nm
- ✓ *Endurance* = 30 hari
- ✓ Persenjataan :
 - *Surface-to-Surface* : -. *Excocet MM40 Launcher* (16 unit)
 -. *76mm SuperRapid Gun* (5000 rounds)
 - *Air-to-Surface* : -. *Vertical Launch SeaWolf Missile* (32 unit)
 - *Anti-Sub* : -. *COUGAR Class Hellicopter (AS532-AL)*

6.3 Saran

- Analisa uji tarik model sebagai langkah selanjutnya untuk pendetailan desain kedepannya agar berguna dan bisa dikembangkan kembali.
- Analis penambahan *wedge surface* dan *spray trail* guna meningkatkan performa kapal dalam mode siluman (*stealth-mode*).
- Analisa konstruksi dan kekuatan lambung kapal
- Analisa pengaruh RSA (*Radar Section Area*) terhadap tingkat deteksi kapal guna pengembangan kapal sebagai *stealth-mode frigate*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bertram, Volker 1997. *Hydrodynamic Design Aspects for Fast Conventional Vessels*. HSVA, Hamburg.
- Deybach, Frédéric (1997). *Intact Stability Criteria for Naval Ship*. Massachusetts Institute of Technology, Departement of Ocean Engineering.
- Evans, J. Harvey (1959). *Basic Design Concepts*. Naval Engineers Journal. November Fregat. (6 April 2013). Wikipedia: <http://id.wikipedia.org/wiki/Fregat> den 5 Mei 2014
- Indonesia Beli Tiga Kapal Fregat Inggris. (17 Januari 2013). <http://www.artileri.org/2013/01/indonesia-beli-tiga-kapal-fregat-inggris.html> (5 Mei 2014)
- Korvet. (20 Januari 2013). Wikipedia: <http://id.wikipedia.org/wiki/Korvet> (5 Mei 2014)
- Lamb, T. (2004). *Ship Design & Construction, Volume 2*. New Jersey: the Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Lewis, Edward V. (1980). *Principles of Naval Architecture Second Revision, Volume II, Resistance, Propulsion and Vibration*. Jersey City, NJ : The Society of Naval Architects & Marine Engineers.
- Manfaat, D. (2013). *Case-Based Design* (282 pages). Surabaya: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Parsons, Michael G. (2001). *Parametric Design, Chapter 11*. University of Michigan, Departement of Naval Architecture and Marine Engineering.
- Sumakul, W. F. (2014). *Kepentingan Nasional (Indonesia) dan Minimum Essential Force (MEF)*.
- Watson, D. (1998). *Practical Ship Design*. Scotland: ELSEVIER.

Penentuan Ukuran Utama Awal

Persyaratan

- 1 Service Speed = 30 knot
- 2 Rute = Perairan Natuna (ALKI I)
- 3 Mission = Multi-Role Light Frigate

Data Kapal Pembanding

| No. | Nama Kapal | Tipe Kapal | LPP (m) | B (m) | H (m) | T (m) | L/B | B/T | T/H | Displacement | Vs (knot) | Daya Mesin Total (Hp) | Tahun Pembuatan |
|-----|----------------------|--------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-----------|-----------------------|-----------------|
| 1 | KRI BUNG TOMO - 357 | Multi Role Light Frigate | 96.20 | 11.50 | 5.20 | 3.80 | 8.365 | 3.026 | 0.731 | 2300 | 27 | 41571.68 | 2007 |
| 2 | KRI FATAHILAH - 361 | Light Frigate | 78.50 | 11.10 | 6.80 | 4.20 | 7.072 | 2.643 | 0.618 | 1519 | 30 | 36000.00 | 1977 |
| 3 | KRI DIPONEGORO - 365 | Corvette | 81.90 | 13.02 | 6.00 | 3.60 | 6.290 | 3.617 | 0.600 | 1692 | 28 | 21724.56 | 2006 |
| MIN | | | 78.50 | 11.10 | 5.20 | 3.60 | 6.29 | 2.64 | 0.60 | | | | |
| MAX | | | 96.20 | 13.0 | 6.80 | 4.20 | 8.37 | 3.62 | 0.73 | | | | |

Data ukuran awal yang digunakan

| | | |
|---------------|-------|---|
| LPP diambil = | 96.20 | m |
| B diambil = | 11.50 | m |
| H diambil = | 5.20 | m |
| T diambil = | 3.80 | m |

Keterangan :

- 1 Data ukuran kapal awal yang digunakan adalah **KRI BUNG TOMO - 357** karena merupakan kapal dengan tipe yang sama yaitu **Multi-Role Light Frigate**
- 2 Pertimbangan lain dalam pemilihan ukuran utama awal ini, antara lain :

- Displacement kapal yang lebih besar dibandingkan dengan kapal seukurannya (atas pertimbangan penulis mengingat peran kapal adalah Multi-Role)

- Nilai L/B yang lebih besar dibandingkan dengan kapal sejenisnya (mempengaruhi hambatan kapal)

- Data pendukung penulisan tugas akhir lebih lengkap

PROSES OPTIMASI PERENCANAAN FRIGATE

CHANGING VARIABLE

| | Item | Unit | Symbol | Min | Value | Max | Remark |
|--------------|---------|------|--------|-------|-------|-------|----------|
| Ukuran Utama | Panjang | m | L | 78.50 | 96.06 | 96.20 | ACCEPTED |
| | Lebar | m | B | 11.10 | 12.01 | 13.02 | ACCEPTED |
| | Tinggi | m | H | 5.20 | 6.74 | 6.80 | ACCEPTED |
| | Sarat | m | T | 3.60 | 4.05 | 4.20 | ACCEPTED |

CONSTRAINT

| Syarat Teknis | Item | Unit | Symbol | Min | Value | Max | Remark |
|---------------|--|-------|-------------|-------|--------|-------|----------|
| Froude Number | $F_n = V/(g \cdot L_{pp})^{0.5}$ | | | 0 | 0.493 | | ACCEPTED |
| Stabilitas | MG pada sudut oleng 0^0 | m | MG_0 | 0.3 | 4.895 | | ACCEPTED |
| | Lengan statis pada sudut oleng $>30^0$ | m | Ls_{30} | 0.3 | 6.627 | | ACCEPTED |
| | Sudut kemiringan pada Ls maksimum | deg | Ls_{maks} | 30 | 81.356 | | ACCEPTED |
| | Lengan dinamis pada 30^0 | m.rad | Ld_{30} | 0.080 | 0.312 | | ACCEPTED |
| | Lengan dinamis pada 40^0 | m.rad | Ld_{40} | 0.133 | 0.382 | | ACCEPTED |
| | Luas Kurva GZ antara $30^0 - 40^0$ | m.rad | | 0.048 | 0.069 | | ACCEPTED |
| Displacement | Koreksi Displacement | % | | 0% | 3.895 | 10% | ACCEPTED |
| | Harga Displacement | ton | | 2600 | 2600 | | ACCEPTED |
| Freeboard | F_s | m | F | | 1.063 | 2.70 | ACCEPTED |
| Rasio Ukuran | | | L/B | 8.000 | 8.000 | 9.500 | ACCEPTED |
| | | | B/T | 2.800 | 2.967 | 3.200 | ACCEPTED |
| | | | T/H | 0.600 | 0.600 | 0.850 | ACCEPTED |

OBJECTIVE FUNCTION

| | Item | Unit | Symbol | Value |
|--|----------------------|------|--------|---------|
| | Hambatan Total Kapal | kN | | 782.428 |

<---- Target Cell

| CONSTANT VALUE | | | | |
|----------------|------------------------------|--------------------|-----------------|-------|
| | Item | Unit | Symbol | Value |
| | Massa Jenis Air (Laut) | ton/m ² | ρ air laut | 1.025 |
| | Massa jenis bahan bakar | ton/m ² | ρ fo | 0.81 |
| | Massa jenis pelumas | ton/m ² | ρ lo | 0.95 |
| | Gaya Gravitasi | m/s ² | g | 9.81 |
| | Radius Pelayaran | nmil | | 1000 |
| | Kecepatan Relatif Angin | Knot | Va | |
| | Kedalaman Perairan (minimal) | m | | |
| | Massa Jenis Baja | kg/m ³ | ρ baja | 7.85 |

Coeffisien calculation

Input Data :

| | | | | |
|----------|-------|---|-------------|------------|
| $L_o =$ | 96.06 | m | $L_o/B_o =$ | 8.000 |
| $H_o =$ | 6.74 | m | $B_o/T_o =$ | 2.967 |
| $B_o =$ | 12.01 | m | $T_o/H_o =$ | 0.600 |
| $T_o =$ | 4.05 | m | | |
| $\rho =$ | 1.025 | | $V_s =$ | 30 knot |
| $F_n =$ | 0.49 | | | 15.432 m/s |

Perhitungan :

• Froude Number Kapal :

$$F_{n_o} = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L}} = 0.49 \quad g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Principle of Naval Architecture Vol.II hlm.154

• Perhitungan ratio ukuran utama kapal :

$$\begin{aligned} L_o/B_o &= 8.000 \rightarrow 6 < L/B < 9.5 \\ B_o/T_o &= 2.967 \rightarrow 2.8 < B/T < 3.2 \\ T_o/H_o &= 0.600 \rightarrow 0.6 < T/H < 0.85 \\ Lwl/V^{1/3} &= 7.326 \rightarrow 7 < Lwl/V^{1/3} < 8.5 \end{aligned}$$

Principle of Naval Architecture Vol.I hlm.19

Principle of Naval Architecture Vol.I hlm.19

Principle of Naval Architecture Vol.I hlm.19

Principle of Naval Architecture Vol.I hlm.20

• Block Coeffisien (Watson & Gilfillan) :

$$C_b = 0.70 + 1/8 \arctan (23-100F_n)/4 \text{ radians} = 0.523$$

Practical Ship Design Chapter 3 hlm, 76

• Midship Section Coefficient (for High Rise of Floor Ship) :

$$C_m = 0.4 C_b + 0.58 = 0.789$$

Practical Ship Design Chapter 8 hlm, 244

• Waterplan Coefficient :

$$C_{wp} = 0.262 + 0.810 C_p = 0.798$$

Parametric design halaman 11-16

• Longitudinal Center of Bouyancy (LCB) :

$$\begin{aligned} LCB &= 2\% \text{ to } 3\% \text{ aft of } L_{pp}/2 \text{ from amidship (diambil } 3\%) \\ &= -1.440952 \text{ m dari midship} \\ &= 46.590783 \text{ m dari AP} \end{aligned}$$

Hydrodynamic Design Aspects for Fast Conventional Vessels, Volker Bertram

• Prismatic Coeffisien :

$$C_p = C_b/C_m = 0.662$$

• Lwl :

$$L_{wl} = 104\% L_{pp} = 99.906008 \text{ m}$$

• ∇ (m3) :

$$\nabla = L \cdot B \cdot T \cdot C_B = 2536.585 \text{ m}^3$$

• Δ (ton) :

$$\Delta = L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \gamma = 2600.000 \text{ ton}$$

Resistance Calculation

[Holtrop & Mennen Method]

Input Data :

| | | | |
|------|---------|-------|-------|
| Lo = | 96.06 m | Cb = | 0.523 |
| Ho = | 6.74 m | Cm = | 0.789 |
| Bo = | 12.01 m | Cwp = | 0.798 |
| To = | 4.05 m | Cp = | 0.662 |

| Choice No. | C _{stern} | Used for |
|------------|--------------------|--------------------------------------|
| 1 | -25 | Pram with Gondola |
| 2 | -10 | V - Shaped Sections |
| 3 | 0 | Normal Sectional Shape |
| 4 | 10 | U - Shaped Section With Hogner Stern |

Perhitungan :

Viscous Resistance

$$Lwl = 104\% \cdot Lpp = 99.90601 \text{ m}$$

$$Fn = \frac{Vs}{\sqrt{g \cdot L}} = 0.49$$

- C_{F0} (Friction Coefficient - ITTC 1957)

PNA Vol II hlm. 100

$$R_n = \frac{1.47 \cdot 10^{-5}}{v^{1.75}} \cdot L^{1.1667} \cdot v^{1.1667} \cdot \left(\frac{L}{L_R} \right)^{0.1216} \cdot \left(\frac{L^3}{\nabla} \right)^{0.3649} \cdot (1 - C_p)^{-0.6042}$$

$$= 518972160.42$$

$$C_{F0} = \frac{0.075}{(\log Rn - 2)^2}$$

$$= 0.001663$$

- Harga 1 + k_i

$$1 + k_i = 0.93 + 0.487 \cdot \left(\frac{B}{L} \right)^{1.0681} \cdot \left(\frac{T}{L} \right)^{0.4611} \cdot \left(\frac{L}{L_R} \right)^{0.1216} \cdot \left(\frac{L^3}{\nabla} \right)^{0.3649} \cdot (1 - C_p)^{-0.6042}$$

$$= 1.097$$

$$c = 1 + 0.011 \cdot c_{stern} \quad c_{stern} = 0, \text{ karena bentuk Afterbody normal}$$

$$= 0.89$$

PNA Vol II hlm. 100

$$\frac{L_R}{L} = 1 - C_p + \frac{0.06 \cdot C_p \cdot LCB}{(4C_p - 1)}$$

$$= 1.460$$

$$Lwl^3 / \nabla = 393.120$$

LCB = 46.590783 m AP

Resistance of Appendages

- Wetted Surface Area

$$A_{BT} = \text{cross sectional area of bulb in FP}$$

$$= 10\% \cdot B \cdot T \cdot Cm$$

$$= 0 \rightarrow \text{tanpa bulb}$$

$$S = L(2T + B)C_M^{0.5} (0.4530 + 0.4425C_B - 0.2862C_M - 0.003467\frac{B}{T} + 0.3696C_{WP}) + 2.38\frac{A_{BT}}{C_B}$$

$$= 1325.754$$

$$S_{Rudder} = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot \frac{1.75 \cdot L \cdot T}{100} \quad \text{dengan } L = Lpp$$

$$= 6.803$$

BKI 2009 Vol II

$$S_{Bilge \text{ Keel}} = L_{Keel} \cdot H_{Keel} \cdot 4 \quad L_{Keel} = 0.6 \cdot C_b \cdot Lwl \quad H_{Keel} = 0.18 / (Cb - 0.2)$$

$$= 69.923 \quad = 31.322 \quad = 0.558$$

Watson 1998, hal 254

$$S_{app} = \text{total wetted surface of appendages}$$

$$= S_{Rudder} + S_{Bilge \text{ Keel}}$$

$$= 83.529$$

$$S_{tot} = \text{wetted surface of bare hull and appendages}$$

$$= S + S_{app}$$

$$= 1409.283$$

• Harga 1 + k2

$$(1+k_2)_{\text{effective}} = \frac{\sum S_i (1+k_i) i}{\sum S_i}$$

$$= 16.7$$

Harga (1+k2) = 2.8 → Spade-type rudders of twin-screw ships
 = 3.0 → Shaft brackets
 = 2.0 → Bossing
 = 2.8 → Stabilizer fins
 = 2.0 → Shafts
 = 2.7 → Sonar dome
 = 1.4 → Bilge keels

$$1 + k = 1 + k_1 + [1 + k_2 - (1 + k_1)] \frac{S_{\text{app}}}{S_{\text{tot}}}$$

$$= 2.022$$

PNA Vol II hlm. 92

Wave Making Resistance

$$C_1 = 2223105 C_4^{3.7861} \left(\frac{T}{B} \right)^{1.0796} (90 - i_E)^{-1.3757}$$

$$= 0.643$$

$$C_4 = B/L \rightarrow 0.11 \leq B/L \leq 0.25 \quad B/L = 0.120$$

$$= 0.120$$

Even Keel → Ta = T
 Tf = T

$$i_E = 12567 \frac{B}{L} - 16225 C_p^2 + 23432 C_p^3 + 0.155 \left(LCB + \frac{6.8(T_o - T)}{T} \right)^3$$

$$i_E = 19.229 \text{ drg}$$

• Harga m1

$$m_1 = 0.01404 \frac{L}{T} - 1.7525 \nabla^{\frac{1}{3}} / L - 4.7932 B / L - C_5$$

$$= -1.764$$

$$C_5 = 8.0798 C_p - 13.8673 C_p^2 + 6.9844 C_p^3 \rightarrow C_p \leq 0.8$$

$$= 1.298$$

• Harga m2

$$m_2 = C_6 0.4 e^{-0.034 F_n^{-3.29}} \quad F_n^{-3.29} = 10.24978$$

$$e^{-0.034 F_n^{-3.29}} = 0.70575$$

$$C_6 = -1.69385 \rightarrow L3 / \nabla \leq 512 \quad \frac{L^3}{\nabla} = 393.120$$

• Harga λ

$$\lambda = 1.446 C_p - 0.03 L/B \quad L/B \rightarrow \leq 12$$

$$= 0.708$$

• Harga C2

$$C_2 = 1 \rightarrow \text{without Bulb} \quad d = -0.9$$

• Harga C3

$$C_3 = 1 - 0.8 A_T / (B \cdot T \cdot C_M) \quad A_T = 9.781$$

$$= 0.795902399 \quad A_T = \text{the immersed area of the transom at zero speed}$$

Saat Vs = 0, Transom tercelup air

• Harga Rw/w

$$\frac{R_w}{W} = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot e^{\left(m_1 \cdot F_n^d + m_2 \cos \left(\lambda F_n^{-2} \right) \right)}$$

$$= 0.4841$$

• CA (Correlation Allowance)

$$C_A = 0.006 (Lwl + 100)^{-0.16} - 0.00205 \rightarrow Tl/Lwl \geq 0.04 \quad Tl/Lwl = 0.0405036$$

$$= 0.0005$$

• W (Gaya Berat)

$$W = \rho \cdot g \cdot \nabla$$

$$= 25506.001 \text{ N}$$

• Rtotal

$$R_T = \frac{1}{2} \rho V^2 S_{\text{wet}} [C_r (1 + k) + C_A] + \frac{R_w}{W} W$$

$$= 680372.5242 \text{ N}$$

$$= 680.373 \text{ kN}$$

• Rtotal+15%(margin)

$$= 782.428 \text{ kN}$$

PNA Vol II hlm. 103

Propulsion & Power Calculation

Input Data :

| | | | |
|---------------------|--------|--------------------------|--------------|
| $R_T =$ | 782.43 | $D =$ | 2.630 m |
| $P/D =$ | 0.85 | $Z =$ | 5 |
| $n \text{ (rpm)} =$ | 15000 | $AE/AO =$ | 0.85 |
| $n \text{ (rps)} =$ | 250 | $PE \text{ (kW)} =$ | 23472.852 |
| $F_n =$ | 0.493 | $\rho =$ | 1.025 |
| | | $R_n \text{ propeler} =$ | 518972160.42 |

Note

D = Diameter propeller, $D = 0.65.T$
 n = Putaran propeller
 P/D = Pitch ratio, 0.5-1.4
 Z = Jumlah daun propeller
 AE/AO = Expanded Area Ratio, 0.4;0.55;0.7;0.85;1
dalam perhitungan menggunakan 0,55
 PE = Effective Horse Power = $R_T.V_s$

Perhitungan :

ω (Wake Friction)

PNA Vol II hlm. 162-163

$$C_v = (1+k).C_{w0}+C_A$$
$$= 0.00388$$

$$\omega = 0.3095.C_B+10.C_v.C_B-0.23D/\sqrt{B.T} \quad \text{for twin-screwship}$$
$$= 0.095$$

$$t = 0.325.C_B.0.1885 \cdot D/\sqrt{B.T} \quad \text{for twin-screwship}$$
$$= 0.099$$

$$\eta_R = 0.9737 + 0.111(C_p-0.0225LCB) + 0.06325 \text{ for twin-screwship}$$
$$= 0.985$$

Propulsion Coeffisien (η_p)

PNA Vol II hlm. 152 - 153

$$J = \frac{V_A}{nD}$$
$$= 0.021$$

$$\omega_p = \frac{V - V_A}{V_A}$$
$$= 0.105$$

$$V_A = V(1-\omega)$$
$$= 13.962$$

$$\eta_0 = \frac{J}{2\pi} \cdot \frac{K_T}{K_Q}$$
$$= 0.55 \rightarrow \text{berdasarkan pengalaman}$$

$$\eta_{H1} = \frac{1-t}{1-\omega}$$
$$= 0.9961707$$

$$\eta_R = 0.985$$

$$\eta_D = \frac{P_E}{P_D}$$
$$= 0.539$$

$$P_E = R_T.V_s$$
$$= 23472.852$$

$$P_D = \frac{P_E}{\eta_H \eta_o \eta_r}$$
$$= 43511.527 \text{ kW}$$

Perhitungan PB

$$\eta_B \eta_S = 0.98 \rightarrow \text{Parametric Design Hlm. 31}$$

$$\eta_t = 0.975$$

$$P_B = \frac{P_E}{\eta_H \eta_o \eta_r \eta_s \eta_b \eta_t}$$
$$= 45537.967 \text{ kW} \quad (\text{total BHP yang diperlukan})$$

Koreksi MCR

$$10\% \text{ PB} = 4553.7967 \text{ m}$$

$$\text{Total } P_B = 50091.763 \text{ kW}$$

$$\text{Total BHP} = 68104.761 \text{ HP}$$

Konfigurasi Mode Permesinan CODAG (Combine Diesel And Gas Turbine)

Pemilihan Mesin Induk Turbin Gas

| | |
|--------------|----------|
| Daya = | 40000 kW |
| MCR at 80% = | 50000 kW |
| Jumlah = | 1 Unit |
| RPM = | 15000 |
| L = | 8700 mm |
| W = | 2660 mm |
| H = | 3600 mm |
| Dry mass = | 30 ton |
| Total mass = | 30 ton |

Jenis Mesin

Rolls-Royce MT30 Gas Turbine

Pemilihan Mesin Induk Diesel Engine

| | |
|----------|---------|
| Daya = | 3000 kW |
| Jumlah = | 2 Unit |
| RPM = | 1000 |
| L = | 5176 mm |

Jenis Mesin

Rolls-Royce Bergen C25:33L9P

| | | | |
|--------------------------------|------|------|---|
| W = | 1873 | mm | |
| H = | 3230 | mm | |
| Dry mass = | 26 | ton | |
| Total mass = | 52 | ton | |
| Pemilihan Genset | | | |
| Daya Total Genset yang diminta | 2760 | kW | (mengacu pada besar daya A/E "Parent Ship") |
| Daya = | 690 | kW | |
| Jumlah = | 4 | unit | |
| H = | 2325 | mm | |
| W = | 1555 | mm | |
| L = | 4015 | mm | |
| Dry mass = | 3.8 | ton | |
| Total mass = | 15.2 | ton | |

| Jenis Genset |
|----------------------------------|
| MTU Friedrichshafen 8V 396 TE 54 |

Perhitungan Berat Permesinan

Ship Design for Efficiency and Economy-2nd Edition

Input Data :

| | | | |
|-----------|--------|------------------|--------------|
| D = | 2.630 | P _D = | 43511.527 kW |
| n (rpm) = | 15000 | P _B = | 50091.763 kW |
| Z = | 5 buah | hdb = | 1.508 m |
| AE/AO = | 0.85 | D' = | 6.74 m |

Perhitungan :

Main Engine

$$W_E = 82 \text{ ton}$$

Propulsion Unit

Ship Design for Efficiency and Economy-2nd Edition hal 175

• Gear Box

$$W_{\text{GEAR}} = (0.3 \sim 0.4) \frac{P_B}{n}$$
$$= 1.336 \text{ ton}$$

• Shafting

$$\text{Panjang poros (l)} = 15 \text{ m}$$

$$M_s/l = 11.5 \left(\frac{P_D}{n} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 0.181$$

$$M_s = M_s/l \cdot l$$

$$= 2.715 \text{ ton}$$

• Propeller

$$d_s = 11.5 \left(\frac{P_D}{n} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 16.401$$

$$K \approx 0.250$$

(for warship with controllable-pitch propeller)

$$W_{\text{Prop}} = D^3 \cdot K$$

$$= 4.549 \text{ ton}$$

• Total

$$W_{\text{T.Prop}} = (2 \times W_{\text{Gear}}) + (2 \times M_s) + (2 \times W_{\text{Prop}})$$

$$= 17.199 \text{ ton}$$

Electrical Unit

$$W_{\text{Aux}} = 15.2 \text{ ton}$$

Other Weight

$$W_{\text{ow}} = (0.04 \text{ hingga } 0.07) P_B$$
$$= 3.000 \text{ ton}$$

estimasi diambil 0,001 karena diatas 10MW

$$\text{Total Machinery Weight} = 117.399 \text{ ton}$$

Titik Berat Permesinan

$$VCG_M = hdb + 0.35 (D' - hdb)$$

$$VCG_M = 3.3392 \text{ m}$$

dari baseline

$$LCG_M = 37.0418 \text{ m}$$

dari AP

Perhitungan Berat Baja dan E&O Kapal

Chapter 5 Practical Ship Design (Watson D.) & Ship Design Efficiency and Economy , 1998

| No | Type kapal | K | |
|----|--------------------|-------|-------|
| 1 | Bulk carriers | 0.031 | 0.002 |
| 2 | Passenger ship | 0.038 | 0.001 |
| 3 | Coaster | 0.03 | 0.002 |
| 4 | Container Ship | 0.036 | 0.003 |
| 5 | Research ship | 0.045 | 0.002 |
| 6 | Chemical tanker | 0.036 | 0.001 |
| 7 | Tanker | 0.032 | 0.003 |
| 8 | Refrigerated cargo | 0.034 | 0.002 |
| 9 | Tugs | 0.044 | 0.002 |
| 10 | Frigate / Corvette | 0.023 | - |

→ Hal 85 Practical Ship Design

Input Data :

$L_o = 96.063 \text{ m}$
 $H_o = 6.744 \text{ m}$
 $B_o = 12.008 \text{ m}$
 $T_o = 4.047 \text{ m}$
 $F_n = 0.493$

Perhitungan :

1 Berat Baja

$$Wst = Wsi' (1+0.05(Cb'-Cb))$$

$$Wsi' = Wsi - (\%Scrap \cdot Wsi)$$

$$Wsi = K \cdot E^{1.36}$$

$$Cb' = 0.501$$

Parametric Design chapter 11 p.11-23

Practical Ship Design hal. 83-85

(Net Steel Weight)

note : % Scrap adalah menunjukkan sejumlah bagian baja yang hilang karena proses kerja. Nilainya fungsi dari Cb, Jenis kapal, dan ukuran kapal (David G.M Watson, Practical Ship Desing, 1998)

$$* E = L \cdot (B+T) + 0.85 \cdot L \cdot (D-T) + 0.85(11 \cdot h1) + 0.75(12 \cdot h2)$$

Dimana :

| | |
|---------------|---------|
| 11 maindeck = | 83.60 m |
| h1 maindeck = | 2.5 m |
| 11 2nd deck = | 53.70 m |
| h1 2nd deck = | 2.5 m |
| 12 3rd deck = | 21.6 m |
| h2 3rd deck = | 2.5 m |

$$* E = 2094.790$$

$$* Wsi = 755.926 \text{ ton}$$

$$* Wsi' = Wsi - (\%Scrap \cdot Wsi)$$

$$Wsi' = 643.187 \text{ ton}$$

$$* Wst = Wsi' (1+0.05(Cb'-Cb))$$

$$Wst = 642.494 \text{ ton}$$

| Length of Ship | Scrap % | |
|------------------|---------|-----|
| | Min | Max |
| 60 m > L > 100 m | 0.5 | 1 |
| 45 m > L > 60 m | 1 | 2 |
| L < 45 m | 3 | 3 |

Cb correction Scrap

$$\% \text{ Scrap} = 5.022Cb^{-1.57}$$

$$\% \text{ Scrap} = 13.91 \%$$

$$\text{Total Scrap \%} = 14.91 \%$$

Berat Total Steel 642.494 Ton

=

Titik Berat Baja Total

$$VCG_{\text{hull}} = 0.01D (46.6 + 0.135(0.81 - C_b)(L/D)^2) + 0.008D(L/B - 6.5)$$

$$VCG_{\text{hull}} = 3.754787864 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{hull}} = -0.15 + LCB$$

$$LCG_{\text{hull}} = 46.44078271 \text{ m}$$

2 Berat E&O

Parametric Design chapter 11 p.11-23

$$W_o = C_o \cdot L \cdot B$$

$$C_o = \text{Outfit weight coefficient}$$

$$C_o = 0.400$$

$$W_o = 461.4095 \text{ ton}$$

$$\text{Berat Total E\&O} = 461.410 \text{ Ton}$$

Titik Berat E&O

$$VCG_{\text{E\&O}} = D + 1.25$$

$$VCG_{\text{E\&O}} = 7.994 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{E\&O}} = (25\% W_o \text{ at LCGM, } 37.5\% W_o \text{ at LCGdh, dan } 37.5\% \text{ at LCG amidship})$$

$$25\% W_o = 115.352 \text{ ton at } 37.042 \text{ m dari AP}$$

$$37.5\% W_o = 173.029 \text{ ton at } 54.947 \text{ m dari AP}$$

$$37.5\% W_o = 173.029 \text{ ton at } 48.032 \text{ m dari AP}$$

$$LCG_{\text{E\&O}} = 47.87762553 \text{ m}$$

3 Equipment Number

$$h = 10.19 \text{ m} \quad (\text{tinggi kapal diukur dari DWL hingga deckhouse teratas})$$

$$A = 650.2262 \text{ m}^2 \quad (\text{luasan profil kapal diatas DWL})$$

$$Z = D^{2/3} + 2hB + (A/10)$$

$$Z = 498.8257518$$

4 Chain Locker

$$d = 30 \text{ mm} \quad (\text{diameter rantai berdasarkan Equipment Number})$$

$$l = 90 \text{ mm} \quad (\text{panjang stud rantai berdasarkan Equipment Number})$$

$$S = 1.1 \times d^2 \times l / 10^5$$

$$S = 0.891 \text{ m}^3$$

$$p = 0.8 \text{ m}$$

$$l = 0.8 \text{ m}$$

$$t = 1.5 \text{ m}$$

}

Ukuran Minimum Chain Locker

Consumable and Crew Calculation

Chapter 11 Parametric Design : Michael G. Parsons

Lecture of Ship Design and Ship Theory : Herald Poehls

Input Data :

| | | | | | | | | |
|-----|--------|---|---------------------|----------|-----|--------------|------|----|
| L = | 96.063 | m | $V_{S_{pursuit}} =$ | 15.432 | m/s | 30 | knot | |
| B = | 12.008 | m | $V_{S_{eco}} =$ | 7.716 | m/s | 15 | knot | |
| H = | 6.744 | m | $PB_{pursuit} =$ | 50091.76 | kW | $Pb_{eco} =$ | 5000 | kW |
| T = | 4.047 | m | | 68104.76 | HP | | 6798 | HP |

Perhitungan :

Consumable :

• Jumlah Crew

| | | |
|---|-----|---------------------|
| Mengacu pada kapasitas kru pada kapal "Parent Ship" KRI Bung Tomo = | 80 | kru kapal |
| | 24 | pasukan laut khusus |
| | 104 | + |

• Crew Weight

| | | |
|--------------|-------|------------|
| $C_{C\&E} =$ | 0.17 | ton/person |
| $W_{C\&E} =$ | 17.68 | ton |

• Fuel Oil (Main Turbine Gas)

| | | | |
|---|------------|----------------|--|
| SFR = | 0.000207 | ton/kW.hr | (untuk gas turbin) |
| MCR = | 50091.7633 | kW | ρ Marine Gas Oil = 0.86 kg/L |
| Margin = | 5% | | $[1+(5\% \sim 10\%)].WFO$ |
| $W_{FOT} = SFR \cdot MCR \cdot S / V \cdot S \cdot (1 + \text{Margin})$ | | ;Margin 5-10% | koreksi cadangan engine |
| | 653.303 | ton | (natural gas fuel) |
| $V_{FOT} =$ | 774.848 | m ³ | S (range) adalah jarak yang ditempuh dalam nautical milles |
| | | range = | 500 nm |

Ref: Parametric design chapter 11, p11-25

• Fuel Oil (Main Diesel Engines)

| | | | | | |
|---|----------|----------------|----------------------------|--|------|
| SFR = | 0.000185 | ton/kW.hr | (untuk diesel engine) | | |
| MCR = | 3000 | kW | ρ Marine Diesel Oil = | 0.95 | kg/L |
| Margin = | 5% | | [1+(5% ~ 10%)].WFO | | |
| $W_{FOD} = SFR \cdot MCR \cdot S / V \cdot S \cdot (1 + \text{Margin})$ | | :Margin 5-10% | koreksi cadangan engine | | |
| = | 349.303 | ton | (MDO fuel) | S (range) adalah jarak yang ditempuh dalam nautical milles | |
| $V_{FOD} =$ | 375.041 | m ³ | range = | 2500 | nm |

• Diesel Oil (Auxiliary Engines)

| | | | | |
|------------|--------|----------------|-----------------|---------------------------|
| $C_{DO} =$ | 20% | W_{FOD} | 1,3-1,5 | diambil 1,4 |
| $W_{DO} =$ | 69.861 | ton | nautical milles | (Natuna - Tanjung Pinang) |
| $V_{DO} =$ | 75.008 | m ³ | | |

• Fuel Oil (Aviation Purposes)

| | | |
|---------------|-------------------------|------------------------------|
| $\rho_{AO} =$ | 0.797 kg/m ³ | |
| $W_{AO} =$ | 10.000 ton | (mengacu data "Parent Ship") |
| $V_{AO} =$ | 7.970 m3 | |

• Lubrication Oil

| | | |
|---|----------|-----------------------|
| $W_{LO} = bhp \cdot sloc \cdot radius \text{ pelayaran} / vs \cdot 10^{-6} \cdot 1,4$ | ton | (medium speed diesel) |
| = | 0.935046 | ton |
| $V_{LO} =$ | 1.080 | m ³ |

• Fresh Water

| | | |
|-----------------------------|-----------------------|--|
| Endurance = | 30 hari | |
| $W_{FW \text{ Tot}}$ = | 0.17 ton/(person.day) | |
| = | 530.4 ton | |
| $W_{FW \text{ tangki}}$ = | 49 ton | (mengacu kapasitas tangki "Parent Ship") |
| $W_{FW \text{ filtrasi}}$ = | 481.4 ton | (kapasitas filtrasi air laut) |
| ρ_{fw} = | 1 ton/m ³ | |
| $V_{FW \text{ tangki}}$ = | 50.96 m ³ | |

Ref: Parametric design chapter 11, p11-24

• Provision and Store

| | | |
|------------|------|------------------|
| $W_{PR} =$ | 0.01 | ton/(person.day) |
| = | 31.2 | ton |

$W_{crew \& consumable} =$ 1181.28 ton

Ship Organisation (Crew List)

| | | | | |
|---|---|-------------------|--------------------|--------------------|
| >> <u>Operations</u> | | Chief Rank | Senior Rank | Junior Rank |
| • Commanding Officer | | 1 | - | - |
| • Officers | | 1 | 8 | - |
| >> <u>Weapons and System</u> | | | | |
| • Warfare Engineer | | 1 | 6 | 22 |
| • Weapon Engineer | | 1 | 6 | 6 |
| >> <u>Marine Engineering</u> | | | | |
| • Marine Engineer | | 1 | 6 | 11 |
| >> <u>Supply and Service</u> | | | | |
| • Executive | | 1 | 2 | 2 |
| • Supply and Secretariat | | - | - | 5 |
| | | 6 | 28 | 46 |
| >> <u>Total Operational Crew</u> | | | | |
| • Operations | = | 10 | persons | |
| • Weapons and System | = | 42 | persons | |
| • Operations | = | 18 | persons | |
| • Weapons and System | = | 10 | persons | + |
| | | 80 | persons | |
| >> <u>Special Forces</u> | | | | |
| • Special Forces Crew | | 24 | persons | |
| >> <u>Total Crew Onboard</u> | | | | |
| • Operational | = | 80 | persons | |
| • Special Forces | = | 24 | persons | + |
| | | 104 | persons | |

Tank Arrangements

| >> Fuel Tank | Capacity (ton) | Full Load (ton) | Pursuit Load (ton) | Patrol Load (ton) | LCG | VCG | LCG x Weight | VCG x Weight |
|--|-------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|---------|--------|--------------|--------------|
| • Marine Gas Oil (MGO) | | | | | | | | |
| Aft. MGO Tank 1 (SB) | 47.083 | 47.083 | 0 | 9.417 | 8.622 | 2.9176 | 405.949626 | 137.3693608 |
| Aft. MGO Tank 2 (SB) | 116.914 | 116.914 | 0 | 0 | 20 | 2.8709 | 2338.28 | 335.6484026 |
| Aft. MGO Tank 1 (P) | 47.083 | 47.083 | 0 | 9.417 | 8.622 | 2.9176 | 405.949626 | 137.3693608 |
| Aft. MGO Tank 2 (P) | 116.914 | 116.914 | 0 | 0 | 20 | 2.8709 | 2338.28 | 335.6484026 |
| Fwd. MGO Tank 1 (SB) | 71.364 | 71.364 | 0 | 71.364 | 55.75 | 2.8709 | 3978.543 | 204.8789076 |
| Fwd. MGO Tank 2 (SB) | 81.673 | 81.673 | 0 | 81.673 | 65.75 | 2.8709 | 5369.99975 | 234.4750157 |
| Fwd. MGO Tank 1 (P) | 71.363 | 71.363 | 0 | 71.363 | 55.75 | 2.8709 | 3978.48725 | 204.8760367 |
| Fwd. MGO Tank 2 (P) | 81.673 | 81.673 | 0 | 81.673 | 65.75 | 2.8709 | 5369.99975 | 234.4750157 |
| • Marine Diesel Oil | | | | | | | | |
| MDO Tank A/E (SB) | 38.256 | 38.256 | 38.256 | 38.256 | 49.5 | 2.8709 | 1893.672 | 109.8291504 |
| MDO Tank A/E (P) | 38.256 | 38.256 | 38.256 | 38.256 | 49.5 | 2.8709 | 1893.672 | 109.8291504 |
| MDO Tank M/E 1 | 49.87 | 49.87 | 49.87 | 49.87 | 50 | 0.7509 | 2493.5 | 37.447383 |
| MDO Tank M/E 2 | 74.447 | 74.447 | 74.447 | 74.447 | 56.25 | 0.7509 | 4187.64375 | 55.9022523 |
| MDO Tank M/E 3 | 68.242 | 68.242 | 68.242 | 68.242 | 63.75 | 0.7509 | 4350.4275 | 51.2429178 |
| MDO Tank M/E 4 | 62.072 | 62.072 | 62.072 | 62.072 | 72.5 | 0.7509 | 4500.22 | 46.6098648 |
| MDO Tank M/E 1 (Aft. Bottom) | 3.891 | 3.891 | 3.891 | 3.891 | 11.25 | 0.7509 | 43.77375 | 2.9217519 |
| MDO Tank M/E 2 (Aft. Bottom) | 51.943 | 51.943 | 51.943 | 51.943 | 20 | 0.7509 | 1038.86 | 39.0039987 |
| MDO Tank M/E (Fwd. Bottom) | 49.115 | 49.115 | 49.115 | 0 | 45 | 0.7509 | 2210.175 | 36.8804535 |
| • Helicopter Fuel | | | | | | | | |
| Aviation Tank (SB) | 7.015 | 7.015 | 7.015 | 7.015 | 16.9486 | 8.3803 | 118.894429 | 58.7878045 |
| Aviation Tank (P) | 7.015 | 7.015 | 7.015 | 7.015 | 16.9486 | 8.3803 | 118.894429 | 58.7878045 |
| >> Service Tank | | | | | | | | |
| • Lubrication Oil | | | | | | | | |
| Lubrication Oil Tank | 7.452 | 1.118 | 1.118 | 1.118 | 41.75 | 0.7509 | 46.6765 | 0.8395062 |
| • Sewage | | | | | | | | |
| Sewage Tank | 39.735 | 0 | 0 | 0 | -2.7626 | 3.3768 | 0 | 0 |
| • Fresh Water | | | | | | | | |
| Fresh Water Tank 1 (SB) | 25.469 | 25.469 | 25.469 | 25.469 | 74.5 | 2.8709 | 1897.4405 | 73.1189521 |
| Fresh Water Tank 2 (SB) | 6.096 | 0 | 0 | 0 | 79.6863 | 3.3297 | 0 | 0 |
| Fresh Water Tank 1 (P) | 25.469 | 25.469 | 25.469 | 25.469 | 74.5 | 2.8709 | 1897.4405 | 73.1189521 |
| Fresh Water Tank 2 (P) | 6.096 | 0 | 0 | 0 | 79.6863 | 3.3297 | 0 | 0 |
| • Ballasting | | | | | | | | |
| Aft. Void Tank | 116.492 | 0 | 116.492 | 116.492 | 1.5695 | 3.1447 | 0 | 0 |
| Fwd. Void 1 Tank | 33.594 | 0 | 33.594 | 0 | 86.25 | 1.9536 | 0 | 0 |
| Fwd. Void 2 Tank | 34.651 | 0 | 34.651 | 0 | 92.1668 | 1.9536 | 0 | 0 |
| Mid. Void Tank (SB) | 90.519 | 0 | 90.519 | 0 | 37.5 | 2.8709 | 0 | 0 |
| Mid. Void Tank (P) | 90.519 | 0 | 90.519 | 0 | 37.5 | 2.8709 | 0 | 0 |
| Mid. Void Tank (Bottom) | 54.663 | 0 | 54.663 | 54.663 | 32.7856 | 0.7509 | 0 | 0 |
| >> Total Weight Calculation (Full Load Condition) | | | | | | | LCG Total | VCG Total |
| • Fuel Tank | = | 1084.189 ton | | | | | 44.77624048 | 2.26981016 |
| • Service Tank | = | 52.056 ton | + | | | | | |
| | | 1136.245 ton | | | | | | |

Weaponary Systems and Weight Calculation

| | | LCG | VCG |
|--|---|-----------|-----------|
| >> Anti Air to Surface Threat | | | |
| • Decoy Launcher (MK 234 MOD 1 Decoy) | | 42.0686 | 13.0679 |
| > <u>General Specification</u> | | | |
| Weight | = 0.0744 ton/round | | |
| Length | = 1.998 m | | |
| Diameter | = 0.2 m | | |
| Engine | = Chemical solid fuel | | |
| Ammo(s) | = 24 round(s) (4 pods) | | |
| Total Weight | = 1.7856 ton | | |
| • Vertical Launch Sea Wolf SAM Missiles | | 78.3063 | 8.2095 |
| > <u>General Specification</u> | | | |
| Weight | = 0.082 ton | | |
| Length | = 1.9 m | | |
| Diameter | = 0.3 m | | |
| Engine | = Blackcap solid fuel sustainer | | |
| Speed | = 3675 km/h (Mach 3) | | |
| Ammo(s) | = 32 unit(s) | | |
| Total Weight | = 2.624 ton | | |
| • .50 BMG (Browning Machine Gun) | | 21.6784 | 13.0679 |
| > <u>General Specification</u> | | | |
| Weight | = 0.058 ton | | |
| Length | = 1.654 m | | |
| Caliber | = 12.7 x 99 mm | | |
| Rate of Fire | = 1200 round/min | | |
| Ammo(s) | = 2 ton | | |
| Total Weight | = 2.116 ton | | |
| >> Anti Surface to Surface Threat | | | |
| • 76mm OTO Melara Super Rapid Gun | | 88.3928 | 8.2095 |
| > <u>General Specification</u> | | | |
| Weight | = 7.5 ton | | |
| Caliber | = 76.2 mm | | |
| Shell | = 76 x 636 mm/round | | |
| Shell Weight | = 0.01234 ton/round | | |
| Rate of Fire | = 86 round/min (Compact Mode) | | |
| | = 120 round/min (Super Rapid Mode) | | |
| Ammo(s) | = 5000 round(s) | | |
| Total Weight | = 61.7 ton | | |
| • Exocet MM40 SSM Launcher | | 42.0686 | 13.0679 |
| > <u>General Specification</u> | | | |
| Weight | = 0.67 ton | | |
| Length | = 4.7 m | | |
| Engine | = solid propellant engine turbojet (MM40 Block 3 Version) | | |
| Speed | = 1134 km/h (Mach 0.92) | | |
| Ammo(s) | = 16 unit(s) | | |
| Total Weight | = 10.72 ton | | |
| • Oerlikon Sky Shield 35 mm | | 42.0686 | 13.0679 |
| > <u>General Specification</u> | | | |
| Weight | = 0.0559 ton | | |
| Length | = 1.638 m | | |
| Width | = 0.254 m | | |
| Height | = 0.3 m | | |
| Caliber | = 30 x 113 mm | | |
| Rate of Fire | = 625 round/min | | |
| Ammo(s) | = 4 ton | | |
| Total Weight | = 4.1118 ton | | |
| >> Anti Submarine Threat | | | |
| • Torpedo Launch System | | 32.6117 | 8.2095 |
| > <u>General Specification</u> | | | |
| Weight | = 0.312 ton (warhead included) | | |
| Length | = 2.6 m | | |
| Engine | = Electrical pump-jet Magnesium/silver-chloride batteries | | |
| Speed | = 45 knot | | |
| Ammo(s) | = 12 unit(s) | | |
| Total Weight | = 3.744 ton | | |
| • COUGAR Class Helicopter (AS532-AL) | | 27.738 | 8.2095 |
| > <u>General Specification</u> | | | |
| Weight | = 9.35 ton (full load configuration) | | |
| Length | = 15.53 m (15.6 m for rotor diameter) | | |
| Engine | = 1400 kW | | |
| Speed | = 278 km/h | | |
| Total Weight | = 9.35 ton | | |
| >> Total Weight Calculation | | LCG Total | VCG Total |
| • Anti Air to Surface Threat | = 6.5256 ton | 70.573099 | 9.1560733 |
| • Anti Surface to Surface Threat | = 76.5318 ton | | |
| • Anti Submarine Threat | = 13.094 ton + | | |
| | <u>96.1514 ton</u> | | |

| WEIGHT RECAPITULATION | | | | |
|--|------------------------|---|----------|------|
| LWT + DWT | | | | |
| No | Item | | Value | Unit |
| 1 | Steel Weight | = | 642.494 | ton |
| 2 | Machinery Plant Weight | = | 117.399 | ton |
| 3 | E&O Weight | = | 461.410 | ton |
| 4 | Weaponary Weight | = | 96.151 | ton |
| 5 | Crew and Consumable | = | 1181.281 | ton |
| TOTAL = | | | 2498.736 | ton |
| <div> <div>LWT = 1221.303 ton 49% dari total</div> <div>DWT = 1277.433 ton 51% dari total</div> <div> <div>Displacement (LxBxTxCb)</div> <div>Δ = 2600.000 ton</div> <div> <div>Selisih = 101.264 ton</div> <div>3.89 %</div> </div> </div> </div> | | | | |

Center of Gravity Recapitulation

| TITIK BERAT BAJA | | |
|---------------------|---------|------|
| item | value | unit |
| berat baja | 642.494 | ton |
| LCB | 46.591 | m |
| LCG _{hull} | 46.441 | m |
| VCG _{hull} | 3.75 | m |

| TITIK BERAT PERMESINAN | | |
|---------------------------|---------|------|
| item | value | unit |
| berat permesinan | 117.399 | ton |
| LCG _{permesinan} | 37.042 | m |
| VCG _{permesinan} | 3.339 | m |

| TITIK BERAT E&O | | |
|------------------------|---------|------|
| item | value | unit |
| berat E&O | 461.410 | ton |
| LCG _{E&O} | 47.878 | m |
| VCG _{E&O} | 7.994 | m |

| TITIK BERAT PERSENJATAAN | | |
|-----------------------------|-------------|------|
| item | value | unit |
| total berat | 96.1514 | ton |
| LCG _{Persenjataan} | 70.57309872 | m |
| VCG _{Persenjataan} | 9.156073327 | m |

| TITIK BERAT CONSUMABLE | | |
|---------------------------|-------------|------|
| item | value | unit |
| total berat | 1181.28 | ton |
| LCG _{Consumable} | 44.77624048 | m |
| VCG _{Consumable} | 2.26981016 | m |

| TITIK BERAT GABUNGAN | | |
|-------------------------|-------------|------|
| item | value | unit |
| total berat | 2498.736 | ton |
| LCG _{Gabungan} | 46.40620722 | m |
| VCG _{Gabungan} | 4.023926743 | m |

Trim Calculation

Chapter 11 Parametric Design , Michael G. Parsons

Input Data :

| | | |
|------------------------|---|------------------------|
| L_{PP} | = | 96.06 m |
| B | = | 12.01 m |
| T | = | 4.05 m |
| C_M | = | 0.78901 |
| C_B | = | 0.52252 |
| C_{WP} | = | 0.79842 |
| ∇ | = | 2536.59 m ³ |
| KG | = | 70.5731 m |
| $LCG_{LWT\ FP}$ | = | 49.66 m |
| $LCB_{\text{dari FP}}$ | = | 49.47 m |

Perhitungan :

Sifat Hidrostatik

1. KB

$$\begin{aligned} KB/T &= 0.9 - 0.3 \cdot C_M - 0.1 \cdot C_B \\ &\text{Parametric Ship Design hal. 11 - 18} \\ &= 0.61105 \\ KB &= 2.47263 \text{ m} \end{aligned}$$

2. BM_T

$$\begin{aligned} C_I &= 0.1216 \cdot C_{WP} - 0.041 \\ &\text{Transverse Inertia Coefficient} \\ &\text{Parametric Ship Design hal. 11 - 19} \\ &= 0.05609 \\ I_T &= C_I \cdot L_{PP} \cdot B^3 \\ &= 9329 \text{ m}^4 \\ BM_T &= I_T / \nabla \quad ; \text{jarak B dan M secara melintang} \\ &= 3.67778 \text{ m} \end{aligned}$$

3. BM_L

$$\begin{aligned} C_{IL} &= 0.350 \cdot C_{WP}^2 - 0.405 \cdot C_{WP} + 0.146 \\ &\text{Longitudinal Inertia Coefficient} \\ &= 0.04576 \\ I_L &= C_{IL} \cdot L_{PP}^3 \cdot B \\ &= 487075 \text{ m}^4 \\ BM_L &= I_L / \nabla \quad ; \text{jarak B dan M secara melintang} \\ &= 192.02 \text{ m} \end{aligned}$$

4. GM_L

$$\begin{aligned} &= KB + BM_L - KG \\ &= 123.919 \end{aligned}$$

5. Trim

$$\begin{aligned} &= ((LCG - LCB) \cdot L_{PP}) / GM_L \quad ; \text{Parametric Ship Design hal 11 - 27} \\ &= 0.14308 \text{ m} \end{aligned}$$

Kondisi Trim

Trim Buritan

6. Batasan Trim

Δ (LCG - LCB)

= 0.18458

$0.1 \cdot L_{pp}$

= 9.60635

Kondisi Batasan Trim

Diterima

Stability Calculation

Manning Methode (1965) and Naval Ship Stability Criteria according DDS 079-1-b(1) Intact stability

Input Data :

weight = long ton
 Length = feet
 1 feet = 0.3048 m
 L = 315.17 ft
 B = 39.40 ft
 Bw = 39.40 ft (maximum waterline breadth = B)
 H (sarat) = 13.28 ft
 D_M (Depth) = 22.13 ft
 S_F = 0.00 ft
 S_A = 0.00 ft
 D₀ = Δ (ton)/1.016
 = 2559.06 long ton
 L_d = length of superstructure which extend to sides of ship
 = 94.55 ft
 d = 7.22 ft
 C_B = 0.523
 C_W = 0.798
 C_X = midship section coefficient at draft H = Cm
 = 0.789

Perhitungan :

Perhitungan Awal

C_{PV} = vertical prismatic coff. = C_B/C_W
 = 0.654
 A₀ = area of waterline plan at designed draft = L.Bw.Cw
 = 8125.83
 A_M = area of immersed midship section = B.H.Cx
 = 412.67
 S = Mean Sheer: (Ld*d) + (0.5*L*(SF/3)) + (0.5*L*(SA/3))
 = 682.45
 A₂ = area of vertical centerline plane to depth D = (0.98*L*DM) + S
 = 7516.666
 D = Mean Depth : (S/L) + DM
 = 24.29
 F = mean freeboard = D - T
 = 11.016
 A₁ = area of waterline plane at depth D maybe estimate from A₀ and nature of stations above waterline = 1.01 . A₀
 = 8207.09

Perhitungan Koefisien GZ

$$\begin{aligned}
 \Delta_T &= \Delta_0 + \left(\left(\frac{A_0 + A_1}{2} \right) \cdot \left(\frac{F}{35} \right) \right) \\
 &= 5129.41 \\
 \delta &= \frac{\Delta_T}{2 - \Delta_0} \\
 &= 5.65 \\
 C_{W'} &= \frac{A_2}{L \cdot D} \\
 &= 0.982 \\
 C_{X'} &= \frac{A_M - (B \cdot F)}{B \cdot D} \\
 &= -0.430 \\
 C_{PV'} &= \frac{35 \cdot \Delta_T}{A_1 \cdot B} \\
 &= 0.900
 \end{aligned}$$

$$C_{pv}'' = \frac{35 \cdot \Delta_T}{A_2 \cdot B}$$

$$= 0.606$$

$$C_w'' = C_w' - \frac{(140 \cdot d) \cdot (1 - C_{pv}'')}{B \cdot D \cdot L}$$

$$= 0.981$$

$$f_0 = \frac{H \cdot \left[\left(\frac{A_1}{A_0} \right) - 1 \right]}{2 \cdot F \cdot (1 - C_{pv}'')}$$

$$= 0.017$$

$$f_1 = \frac{H \cdot \left[1 - \left(\frac{A_0}{A_1} \right) \right]}{2 \cdot F \cdot (1 - C_{pv}'')}$$

$$= 0.110$$

$$f_2 = \text{jika } CX' \geq 0.89, \text{ maka } = 9.1 \cdot (CX' - 0.342), \quad \text{jika tidak} = 0$$

$$= 0$$

$$KG = VCG$$

$$= 4.02$$

• factor h1

$$f (=0) = 0.463$$

$$f (=0.5) = 0.472$$

$$f (=1) = 0.479$$

$$h1 = \text{untuk } h1, h0 \text{ dan } h2$$

$$\text{jika } 0 \leq f1 \leq 0.5, \text{ maka } = (f=0) + [(f1-0)/(0.5-0)] \cdot ((f=0.5) - (f=0))$$

$$\text{jika tidak } = (f=0.5) + [(f1-0.5)/(1-0.5)] \cdot ((f=1) - (f=0.5))$$

$$= 0.465$$

$$KG' = (D(1-h1)\Delta T - \epsilon) / (2\Delta 0)$$

$$= 13.04$$

$$GG' = (KG' - KG)$$

$$= 9.01$$

• factor h0

$$f (=0) = 0.384$$

$$f (=0.5) = 0.396$$

$$f (=1) = 0.410$$

$$h0 = 0.384$$

$$KB_0 = (1-h0)H$$

$$= 8.176$$

$$G'B_0 = KG' - KB_0$$

$$= 4.859$$

• factor h2

$$f (=0) = 0.336$$

$$f (=0.5) = 0.377$$

$$f (=1) = 0.390$$

$$h2 = 0.336$$

$$G'B_{90} = (DT \cdot h2 \cdot B) / 4 \cdot Do - [d2 / D0 \cdot (17.5 / (A2 - (70 \cdot d / 8) \cdot (1 - CPV''))]$$

$$= 6.623$$

$$C_l = 0.055$$

$$BM_0 = 11.909$$

$$Cl' = 0.084$$

$$BM_{90} = (C1' \cdot L \cdot D3) / 35 \cdot Do + [(Ld \cdot d \cdot D2) / 140 \cdot Do]$$

$$= 5.367$$

$$GM_0 = KB_0 + BM_0 - KG$$

$$= 16.061$$

$$G'M_0 = KB_0 + BM_0 - KG'$$

$$= 7.050$$

$$b_1 = [9 \cdot (G'B_0 - G'B_0)/8] - [(G'M_0 - G'M_0)/32]$$

$$= 1.725$$

$$b_2 = (G'M_0 + G'M_0)/8$$

$$= 0.724$$

$$b_3 = 3 \cdot (G'M_0 - G'M_0)/32 - 3 \cdot (G'B_0 - G'B_0)/8$$

$$= 0.117$$

$$G'M_{90} = -1.256$$

19.1.4. Perhitungan Lengan Statis (GZ [feet])

• Heel Angle (f) = 0

$$GG' \sin 1f = GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180)$$

$$= 0.000$$

$$b_1 \sin 2f = b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180)$$

$$= 0.000$$

$$b_2 \sin 4f = b_2 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180)$$

$$= 0.000$$

$$b_3 \sin 6f = b_3 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180)$$

$$= 0.000$$

$$GZ = GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f$$

$$= 0.000$$

• Heel Angle (f) = 5

$$GG' \sin 1f = GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180)$$

$$= 0.785$$

$$b_1 \sin 2f = b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180)$$

$$= 0.300$$

$$b_2 \sin 4f = b_2 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180)$$

$$= 0.248$$

$$b_3 \sin 6f = b_3 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180)$$

$$= 0.059$$

$$GZ = GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f$$

$$= 1.391$$

• Heel Angle (f) = 10

$$GG' \sin 1f = GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180)$$

$$= 1.565$$

$$b_1 \sin 2f = b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180)$$

$$= 0.590$$

$$b_2 \sin 4f = b_2 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180)$$

$$= 0.465$$

$$b_3 \sin 6f = b_3 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180)$$

$$= 0.101$$

$$GZ = GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f$$

$$= 2.722$$

• Heel Angle (f) = 15

$$GG' \sin 1f = GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180)$$

$$= 2.332$$

$$b_1 \sin 2f = b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180)$$

$$= 0.863$$

$$b_2 \sin 4f = b_2 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180)$$

$$= 0.627$$

$$b_3 \sin 6f = b_3 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180)$$

$$= 0.117$$

$$GZ = GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f$$

$$= 3.939$$

• Heel Angle (f) = 20

$$\begin{aligned}
 GG' \sin 1f &= GG' \sin((0^\circ \text{PI}))/180 \\
 &= 3.082 \\
 b_1 \sin 2f &= b_1 \sin((2^\circ \text{PI}))/180 \\
 &= 1.109 \\
 b_2 \sin 4f &= b_1 \sin((4^\circ \text{PI}))/180 \\
 &= 0.713 \\
 b_3 \sin 6f &= b_1 \sin((6^\circ \text{PI}))/180 \\
 &= 0.101 \\
 GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\
 &= 5.006
 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 25

$$\begin{aligned}
 GG' \sin 1f &= GG' \sin((0^\circ \text{PI}))/180 \\
 &= 3.808 \\
 b_1 \sin 2f &= b_1 \sin((2^\circ \text{PI}))/180 \\
 &= 1.322 \\
 b_2 \sin 4f &= b_1 \sin((4^\circ \text{PI}))/180 \\
 &= 0.713 \\
 b_3 \sin 6f &= b_1 \sin((6^\circ \text{PI}))/180 \\
 &= 0.059 \\
 GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\
 &= 5.902
 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 30

$$\begin{aligned}
 GG' \sin 1f &= GG' \sin((0^\circ \text{PI}))/180 \\
 &= 4.506 \\
 b_1 \sin 2f &= b_1 \sin((2^\circ \text{PI}))/180 \\
 &= 1.494 \\
 b_2 \sin 4f &= b_1 \sin((4^\circ \text{PI}))/180 \\
 &= 0.627 \\
 b_3 \sin 6f &= b_1 \sin((6^\circ \text{PI}))/180 \\
 &= 0.000 \\
 GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\
 &= 6.627
 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 35

$$\begin{aligned}
 GG' \sin 1f &= GG' \sin((0^\circ \text{PI}))/180 \\
 &= 5.169 \\
 b_1 \sin 2f &= b_1 \sin((2^\circ \text{PI}))/180 \\
 &= 1.621 \\
 b_2 \sin 4f &= b_1 \sin((4^\circ \text{PI}))/180 \\
 &= 0.465 \\
 b_3 \sin 6f &= b_1 \sin((6^\circ \text{PI}))/180 \\
 &= -0.059 \\
 GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\
 &= 7.197
 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 40

$$\begin{aligned}
 GG' \sin 1f &= GG' \sin((0^\circ \text{PI}))/180 \\
 &= 5.792 \\
 b_1 \sin 2f &= b_1 \sin((2^\circ \text{PI}))/180 \\
 &= 1.699 \\
 b_2 \sin 4f &= b_1 \sin((4^\circ \text{PI}))/180 \\
 &= 0.248 \\
 b_3 \sin 6f &= b_1 \sin((6^\circ \text{PI}))/180 \\
 &= -0.101 \\
 GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\
 &= 7.638
 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 45

$$\begin{aligned}
 GG' \sin 1f &= GG' \sin((0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 6.372 \\
 b_1 \sin 2f &= b_1 \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 1.725 \\
 b_2 \sin 4f &= b_1 \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 0.000 \\
 b_3 \sin 6f &= b_1 \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= -0.117 \\
 GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\
 &= 7.980
 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 50

$$\begin{aligned}
 GG' \sin 1f &= GG' \sin((0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 6.903 \\
 b_1 \sin 2f &= b_1 \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 1.699 \\
 b_2 \sin 4f &= b_1 \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= -0.248 \\
 b_3 \sin 6f &= b_1 \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= -0.101 \\
 GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\
 &= 8.253
 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 55

$$\begin{aligned}
 GG' \sin 1f &= GG' \sin((0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 7.381 \\
 b_1 \sin 2f &= b_1 \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 1.621 \\
 b_2 \sin 4f &= b_1 \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= -0.465 \\
 b_3 \sin 6f &= b_1 \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= -0.059 \\
 GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\
 &= 8.479
 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 60

$$\begin{aligned}
 GG' \sin 1f &= GG' \sin((0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 7.804 \\
 b_1 \sin 2f &= b_1 \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 1.494 \\
 b_2 \sin 4f &= b_1 \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= -0.627 \\
 b_3 \sin 6f &= b_1 \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 0.000 \\
 GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\
 &= 8.671
 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 65

$$\begin{aligned}
 GG' \sin 1f &= GG' \sin((0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 8.167 \\
 b_1 \sin 2f &= b_1 \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 1.322 \\
 b_2 \sin 4f &= b_1 \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= -0.713 \\
 b_3 \sin 6f &= b_1 \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 0.059 \\
 GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\
 &= 8.834
 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 70

$$\begin{aligned}
 GG' \sin 1f &= GG' \sin((0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 8.468 \\
 b_1 \sin 2f &= b_1 \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 1.109 \\
 b_2 \sin 4f &= b_1 \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= -0.713 \\
 b_3 \sin 6f &= b_1 \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 0.101 \\
 GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\
 &= 8.965
 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 75

$$\begin{aligned}
 GG' \sin 1f &= GG' \sin((0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 8.704 \\
 b_1 \sin 2f &= b_1 \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 0.863 \\
 b_2 \sin 4f &= b_1 \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= -0.627 \\
 b_3 \sin 6f &= b_1 \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 0.117 \\
 GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\
 &= 9.057
 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 80

$$\begin{aligned}
 GG' \sin 1f &= GG' \sin((0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 8.874 \\
 b_1 \sin 2f &= b_1 \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 0.590 \\
 b_2 \sin 4f &= b_1 \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= -0.465 \\
 b_3 \sin 6f &= b_1 \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 0.101 \\
 GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\
 &= 9.100
 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 85

$$\begin{aligned}
 GG' \sin 1f &= GG' \sin((0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 8.977 \\
 b_1 \sin 2f &= b_1 \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 0.300 \\
 b_2 \sin 4f &= b_1 \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= -0.248 \\
 b_3 \sin 6f &= b_1 \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 0.059 \\
 GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\
 &= 9.087
 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 90

$$\begin{aligned}
 GG' \sin 1f &= GG' \sin((0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 9.011 \\
 b_1 \sin 2f &= b_1 \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 0.000 \\
 b_2 \sin 4f &= b_1 \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 0.000 \\
 b_3 \sin 6f &= b_1 \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 0.000 \\
 GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\
 &= 9.011
 \end{aligned}$$

Perhitungan Lengan Dinamis (L_D [feet.rad])

- $h[\text{radian}] =$ (karena jarak sudut yang dibuat 5, maka dimasukkan $= 5 / (180/\text{phi})$)
 $= 0.0873$
- L_D
 - $10^\circ =$ seperti simpson dari 0 - 10 derajat $1/3 \cdot h \cdot (a + 4 \cdot b + c)$
 $= 0.2410$
 - $20^\circ = 0.6831$
 - $30^\circ = 1.0251$
 - $40^\circ = 1.2523$
 - $L_{D\text{Total}} = 3.2015$

REKAPITULASI PERHITUNGAN STABILITAS

unit : metric

Lengan Statis (GZ [m])

| GZ | | |
|----|---|--------|
| 0 | = | 0.0000 |
| 5 | = | 0.4240 |
| 10 | = | 0.8296 |
| 15 | = | 1.2006 |
| 20 | = | 1.5257 |
| 25 | = | 1.7988 |
| 30 | = | 2.0199 |
| 35 | = | 2.1936 |
| 40 | = | 2.3280 |
| 45 | = | 2.4323 |
| 50 | = | 2.5155 |
| 55 | = | 2.5843 |
| 60 | = | 2.6429 |
| 65 | = | 2.6926 |
| 70 | = | 2.7325 |
| 75 | = | 2.7604 |
| 80 | = | 2.7737 |
| 85 | = | 2.7698 |
| 90 | = | 2.7466 |

Lengan Dinamis (L_D [m.rad])

| L_D | | |
|---------------------|---|------------|
| 10 | = | 0.0735 |
| 20 | = | 0.2082 |
| 30 | = | 0.3124 |
| 40 | = | 0.3817 |
| $L_{D\text{Total}}$ | | $= 0.9758$ |

Sudut Maksimum

Gz max = nilai maksimum GZ dari semua sudut 0-90
 $= 2.774$

Kolom ke- (nilai terbesar tersebut pada kolom ke berapa)
 $= 17$

Heel at Gz max (pada sudut heel berapa)
 $= 80$

Titik

| | | |
|----|---|--------|
| X1 | = | 75 |
| X2 | = | 80 |
| X3 | = | 85 |
| Y1 | = | 2.7604 |
| Y2 | = | 2.7737 |
| Y3 | = | 2.7698 |

Hasil perkalian matriks

| | | |
|---|---|-------|
| a | = | 0.496 |
| b | = | 0.056 |
| c | = | 0.000 |

qmax [X°]
 $= 81$

Batasan Stabilitas

Input data :

| | |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| e [m . rad] | $GZ 30^\circ = 6.62689$ |
| $30^\circ = 0.312$ | $\Theta_{max} [X^\circ] = 81$ |
| $40^\circ = 0.382$ | $GM^0 = [\text{feet}] = 16.060603$ |
| $30^\circ - 40^\circ = 0.069$ | $[\text{m}] = 4.8952717$ |

Perhitungan :

• Naval Ship Stability Criteria according DDS 079-1-b(1) Intact stability

$$e_{0,30}^\circ \geq 0.080 = \text{Accepted}$$

$$e_{0,40}^\circ \geq 0.133 = \text{Accepted}$$

$$e_{30,40}^\circ \geq 0.048 = \text{Accepted}$$

$$h_{30}^\circ \geq 0.2 = \text{Accepted}$$

$$\phi_{max} \geq 30^\circ = \text{Accepted}$$

$$GM^0 \geq 0.3 = \text{Accepted}$$

Status = OK

Freeboard Calculation

International Convention on Load Lines, 1966 and Protocol of 1988

Input Data :

L = 96.06 m 97.00
B = 12.01 m
H = 6.74 m
d₁ = 85% Moulded Depth
= 5.73 m
C_B = 0.523
Tipe kapal= Type B

E = panjang efektif superstructure
= 30% L
= 28.82 m

Perhitungan :

• Freeboard Standard

Fb = 1209.00 mm

Regulation 28 Table 28.1

• Koreksi

1. Koreksi untuk Kapal dibawah 100 m

Regulation 29 Correction for depth

untuk kapal dengan panjang $24 < L < 100$ m dan mempunyai superstructure tertutup dengan panjang mencapai 35%L

$$Fb_1 = 7.5 (100-L)(0.35 - E/L)$$

$$E = 28.82 \text{ m}$$

E < 35% L, maka tidak terdapat koreksi

$$\text{Koreksi} = 1.4761989 \text{ mm}$$

$$Fb_1 = 0.00 \text{ mm}$$

2. Koreksi Cb

Regulation 30 Correction for Cb

Jika $C_b > 0.68$

$$Fb_2 = Fb \cdot [(C_b + 0.68)/1.36]$$

Jika $C_b < 0.68$

maka tidak ada koreksi

$$Fb_2 = 0.00 \text{ mm}$$

3. Koreksi Depth (D)

Regulation 31 Correction for depth

Untuk kapal dengan harga $D > L/15$ maka dikoreksi sebagai berikut :

$$Fb_3 = R(D-L/15) \text{ [mm]}$$

$$R = L/0.48 \quad (\text{untuk } L < 120\text{m})$$

$$= 200.13$$

$$D = 6.744 \text{ mm} \quad \text{Jika } D > L/15 \text{ maka } Fb_3 = Fb_2 + (R(D-(L/15)))$$

$$L/15 = 6.4042313$$

$$Fb_3 = 68.05 \text{ mm}$$

4. Koreksi Bangunan Atas (Super Structure)

Regulation 33-34 Correction for Superstructure

Effective Length Super Structure

$$E = 30\% L$$

$$= 28.82 \text{ m}$$

$$E[x.L] = 0.3$$

$$\%Fb = 21\%$$

Superstructure

$$Fb_4 = -254 \text{ mm}$$

5. Koreksi Sheer

Regulation 38 Correction for Sheer

Kapal tidak menggunakan sheer, maka :

$$\text{Tinggi Sheer di FP} = 0.00 \text{ m} \quad (Sf)$$

$$\text{Tinggi Sheer di AP} = 0.00 \text{ m} \quad (Sa)$$

koreksi kelengkungan =

$$A = 1/6 [2.5 (L+30) - 100(Sf-Sa)] \times [0.75 - S/2L]$$

$$A = 39.394834 \text{ mm}$$

$$B = 0.125 \times L$$

$$B = 12.007934 \text{ mm}$$

Maka, koreksi LMK yang digunakan adalah

$$A = 39.39 \text{ mm}$$

• **Minimum Bow height**

Regulation 39 Req. bow height

Kapal Frigate tidak menggunakan bow, maka

$$Fb_6 = 0 \text{ mm}$$

• **Batasan Freeboard**

Actual Freeboard

$$Fba = H - T$$

$$= 2.6977043 \text{ m}$$

Total Calculation Freeboard

$$Fb = 1062.56 \text{ mm}$$

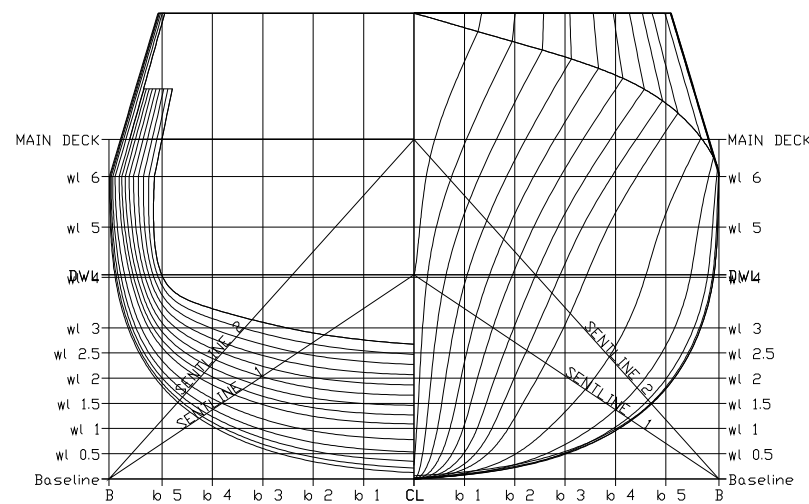
$$Fb = 1.06 \text{ m}$$

Kondisi (Fba - Fb')= Accepted (karena $Fba > Fb'$ maka Accepted)

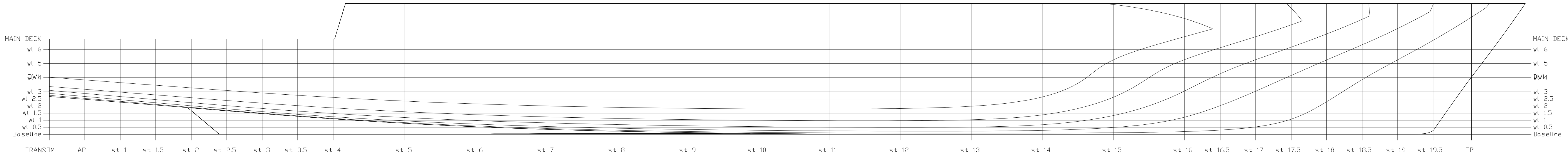
| BL | CL | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|
| Transom | 2.6716 | 2.7591 | 2.8977 | 3.1075 | 3.3774 | 4.0414 | - |
| AP | 2.4728 | 2.5444 | 2.6744 | 2.8887 | 3.1825 | 3.8433 | - |
| st 1 | 2.272 | 2.33 | 2.452 | 2.669 | 2.984 | 3.654 | - |
| st 1.5 | 2.068 | 2.116 | 2.231 | 2.451 | 2.784 | 3.467 | - |
| st 2 | 1.864 | 1.904 | 2.015 | 2.235 | 2.585 | 3.282 | - |
| st 2.5 | 1.661 | 1.697 | 1.804 | 2.026 | 2.39 | 3.101 | - |
| st 3 | 1.462 | 1.496 | 1.604 | 1.827 | 2.203 | 2.926 | - |
| st 3.5 | 1.271 | 1.307 | 1.416 | 1.642 | 2.027 | 2.761 | - |
| st 4 | 1.092 | 1.131 | 1.243 | 1.473 | 1.867 | 2.609 | - |
| st 5 | 0.78 | 0.829 | 0.951 | 1.19 | 1.596 | 2.351 | - |
| st 6 | 0.536 | 0.594 | 0.725 | 0.972 | 1.389 | 2.153 | - |
| st 7 | 0.352 | 0.418 | 0.556 | 0.81 | 1.236 | 2.008 | - |
| st 8 | 0.218 | 0.289 | 0.433 | 0.691 | 1.124 | 1.906 | - |
| st 9 | 0.125 | 0.199 | 0.345 | 0.605 | 1.043 | 1.837 | - |
| st 10 | 0.063 | 0.139 | 0.284 | 0.544 | 0.989 | 1.798 | - |
| st 11 | 0.025 | 0.102 | 0.246 | 0.506 | 0.959 | 1.789 | - |
| st 12 | 0.007 | 0.083 | 0.227 | 0.491 | 0.959 | 1.826 | - |
| st 13 | 0.001 | 0.078 | 0.229 | 0.516 | 1.031 | 1.987 | - |
| st 14 | 0 | 0.085 | 0.282 | 0.683 | 1.377 | 2.648 | - |
| st 15 | 0 | 0.114 | 0.487 | 1.333 | 2.633 | 5.274 | - |
| st 16 | 0 | 0.197 | 1.217 | 3.066 | 5.285 | 6.903 | - |
| st 16.5 | 0 | 0.3 | 2.023 | 4.281 | 6.119 | - | - |
| st 17 | 0 | 0.524 | 3.049 | 5.272 | 6.899 | - | - |
| st 17.5 | 0 | 1.071 | 4.158 | 6.16 | 7.733 | - | - |
| st 18 | 0 | 2.303 | 5.257 | 7.091 | - | - | - |
| st 18.5 | 0 | 3.862 | 6.326 | 8.126 | - | - | - |
| st 19 | 0 | 5.264 | 7.474 | - | - | - | - |
| st 19.5 | 0.27 | 6.64 | - | - | - | - | - |
| FP | 4.054 | 8.283 | - | - | - | - | - |

| WL | Baseline | 0.5 | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 4 | DWL | 5 | 6 | Main Deck |
|---------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| Transom | - | - | - | - | - | - | 2.5289 | 4.9808 | 5.0037 | 5.1637 | 5.1496 | 5.0011 |
| AP | - | - | - | - | - | 0.454 | 3.413 | 5.072 | 5.091 | 5.253 | 5.26 | 5.1 |
| st 1 | - | - | - | - | - | 2.268 | 4.041 | 5.16 | 5.176 | 5.342 | 5.368 | 5.196 |
| st 1.5 | - | - | - | - | - | 3.173 | 4.457 | 5.245 | 5.26 | 5.43 | 5.47 | 5.289 |
| st 2 | - | - | - | - | 1.904 | 3.793 | 4.728 | 5.329 | 5.343 | 5.516 | 5.566 | 5.376 |
| st 2.5 | - | - | - | - | 2.908 | 4.226 | 4.915 | 5.41 | 5.424 | 5.597 | 5.654 | 5.456 |
| st 3 | - | - | - | 1.055 | 3.518 | 4.528 | 5.057 | 5.488 | 5.501 | 5.673 | 5.731 | 5.527 |
| st 3.5 | - | - | - | 2.45 | 3.944 | 4.743 | 5.171 | 5.56 | 5.572 | 5.74 | 5.796 | 5.589 |
| st 4 | - | - | - | 3.086 | 4.247 | 4.902 | 5.265 | 5.625 | 5.637 | 5.797 | 5.85 | 4.109 |
| st 5 | - | - | 2.262 | 3.804 | 4.633 | 5.12 | 5.412 | 5.731 | 5.741 | 5.885 | 5.928 | 5.714 |
| st 6 | - | - | 3.083 | 4.197 | 4.856 | 5.259 | 5.516 | 5.808 | 5.818 | 5.943 | 5.978 | 5.761 |
| st 7 | - | 1.67 | 3.506 | 4.429 | 4.993 | 5.351 | 5.589 | 5.864 | 5.873 | 5.981 | 6.009 | 5.792 |
| st 8 | - | 2.319 | 3.761 | 4.572 | 5.08 | 5.413 | 5.64 | 5.903 | 5.911 | 6.006 | 6.028 | 5.812 |
| st 9 | - | 2.661 | 3.921 | 4.66 | 5.133 | 5.451 | 5.673 | 5.929 | 5.937 | 6.021 | 6.04 | 5.826 |
| st 10 | - | 2.864 | 4.019 | 4.71 | 5.161 | 5.471 | 5.692 | 5.944 | 5.951 | 6.028 | 6.047 | 5.837 |
| st 11 | - | 2.982 | 4.069 | 4.727 | 5.165 | 5.472 | 5.693 | 5.945 | 5.952 | 6.025 | 6.049 | 5.846 |
| st 12 | - | 3.026 | 4.066 | 4.703 | 5.133 | 5.44 | 5.664 | 5.92 | 5.927 | 6.002 | 6.042 | 5.855 |
| st 13 | 0 | 2.958 | 3.953 | 4.578 | 5.01 | 5.323 | 5.554 | 5.822 | 5.829 | 5.922 | 6.006 | 5.858 |
| st 14 | 0 | 2.621 | 3.517 | 4.133 | 4.582 | 4.917 | 5.171 | 5.481 | 5.491 | 5.645 | 5.848 | 5.835 |
| st 15 | 0 | 2.022 | 2.663 | 3.157 | 3.576 | 3.92 | 4.197 | 4.588 | 4.604 | 4.898 | 5.316 | 5.683 |
| st 16 | 0 | 1.465 | 1.869 | 2.163 | 2.446 | 2.718 | 2.969 | 3.408 | 3.429 | 3.851 | 4.418 | 4.892 |
| st 16.5 | 0 | 1.218 | 1.545 | 1.771 | 1.99 | 2.214 | 2.438 | 2.875 | 2.897 | 3.342 | 3.924 | 4.408 |
| st 17 | 0 | 0.983 | 1.252 | 1.434 | 1.606 | 1.788 | 1.981 | 2.395 | 2.417 | 2.858 | 3.422 | 3.895 |
| st 17.5 | 0 | 0.757 | 0.976 | 1.125 | 1.26 | 1.405 | 1.564 | 1.935 | 1.955 | 2.374 | 2.906 | 3.355 |
| st 18 | 0 | 0.543 | 0.713 | 0.831 | 0.935 | 1.045 | 1.169 | 1.481 | 1.499 | 1.883 | 2.374 | 2.791 |
| st 18.5 | 0 | 0.347 | 0.465 | 0.551 | 0.627 | 0.706 | 0.797 | 1.04 | 1.055 | 1.392 | 1.837 | 2.216 |
| st 19 | 0 | 0.172 | 0.239 | 0.293 | 0.342 | 0.394 | 0.454 | 0.624 | 0.635 | 0.906 | 1.297 | 1.637 |
| st 19.5 | - | 0.02 | 0.055 | 0.084 | 0.111 | 0.139 | 0.171 | 0.265 | 0.271 | 0.444 | 0.748 | 1.042 |
| FP | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.118 | 0.244 | 0.413 |

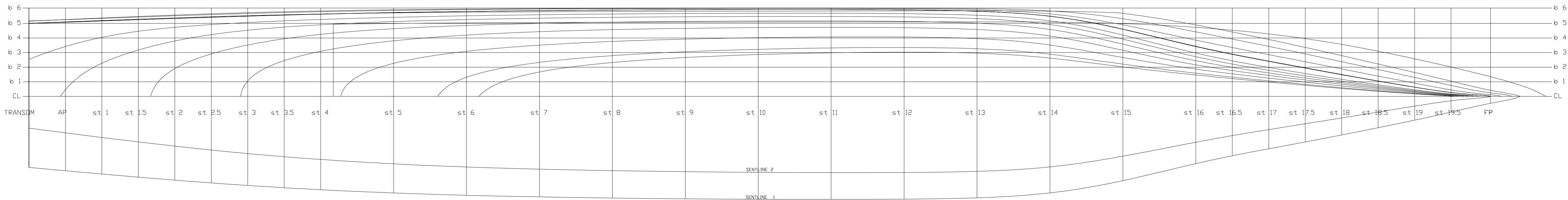
BODY PLAN



SHEER PLAN



HALF-BREADTH PLAN



OFFSET TABLE OF BL & WL

| BL | CL | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | WL | Baseline | 0.5 | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 4 | DWL | 5 | 6 | Main Deck |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|---------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| Transom | 2.6716 | 2.7591 | 2.8977 | 3.1075 | 3.3774 | 4.0414 | - | Transom | - | - | - | - | - | - | 2.5289 | 4.9808 | 5.0037 | 5.1637 | 5.1496 | 5.0011 |
| AP | 2.4728 | 2.5444 | 2.6744 | 2.8887 | 3.1825 | 3.8433 | - | AP | - | - | - | - | - | 0.454 | 3.413 | 5.072 | 5.091 | 5.253 | 5.26 | 5.1 |
| st 1 | 2.272 | 2.33 | 2.452 | 2.669 | 2.984 | 3.654 | - | st 1 | - | - | - | - | - | 2.268 | 4.041 | 5.16 | 5.176 | 5.342 | 5.368 | 5.196 |
| st 1.5 | 2.068 | 2.116 | 2.231 | 2.451 | 2.784 | 3.467 | - | st 1.5 | - | - | - | - | - | 3.173 | 4.457 | 5.245 | 5.26 | 5.43 | 5.47 | 5.289 |
| st 2 | 1.864 | 1.904 | 2.015 | 2.235 | 2.585 | 3.282 | - | st 2 | - | - | - | - | 1.904 | 3.793 | 4.728 | 5.329 | 5.343 | 5.516 | 5.566 | 5.376 |
| st 2.5 | 1.661 | 1.697 | 1.804 | 2.026 | 2.39 | 3.101 | - | st 2.5 | - | - | - | - | 2.908 | 4.226 | 4.915 | 5.41 | 5.424 | 5.597 | 5.654 | 5.456 |
| st 3 | 1.462 | 1.496 | 1.604 | 1.827 | 2.203 | 2.926 | - | st 3 | - | - | - | 1.055 | 3.518 | 4.528 | 5.057 | 5.488 | 5.501 | 5.673 | 5.731 | 5.527 |
| st 3.5 | 1.271 | 1.307 | 1.416 | 1.642 | 2.027 | 2.761 | - | st 3.5 | - | - | - | 2.45 | 3.944 | 4.743 | 5.171 | 5.56 | 5.572 | 5.74 | 5.796 | 5.589 |
| st 4 | 1.092 | 1.131 | 1.243 | 1.473 | 1.867 | 2.609 | - | st 4 | - | - | - | - | 3.086 | 4.247 | 4.902 | 5.265 | 5.625 | 5.637 | 5.797 | 5.85 |
| st 5 | 0.78 | 0.829 | 0.951 | 1.19 | 1.596 | 2.351 | - | st 5 | - | - | 2.262 | 3.804 | 4.633 | 5.12 | 5.412 | 5.731 | 5.741 | 5.885 | 5.928 | 5.714 |
| st 6 | 0.536 | 0.594 | 0.725 | 0.972 | 1.389 | 2.153 | - | st 6 | - | - | 3.083 | 4.197 | 4.856 | 5.259 | 5.516 | 5.808 | 5.818 | 5.943 | 5.978 | 5.761 |
| st 7 | 0.352 | 0.418 | 0.556 | 0.81 | 1.236 | 2.008 | - | st 7 | - | 1.67 | 3.506 | 4.429 | 4.993 | 5.351 | 5.589 | 5.864 | 5.873 | 5.981 | 6.009 | 5.792 |
| st 8 | 0.218 | 0.289 | 0.433 | 0.691 | 1.124 | 1.906 | - | st 8 | - | 2.319 | 3.761 | 4.572 | 5.08 | 5.413 | 5.64 | 5.903 | 5.911 | 6.006 | 6.028 | 5.812 |
| st 9 | 0.125 | 0.199 | 0.345 | 0.605 | 1.043 | 1.837 | - | st 9 | - | 2.661 | 3.921 | 4.66 | 5.133 | 5.451 | 5.673 | 5.929 | 5.937 | 6.021 | 6.04 | 5.826 |
| st 10 | 0.063 | 0.139 | 0.284 | 0.544 | 0.989 | 1.798 | - | st 10 | - | 2.864 | 4.019 | 4.71 | 5.161 | 5.471 | 5.692 | 5.944 | 5.951 | 6.028 | 6.047 | 5.837 |
| st 11 | 0.025 | 0.102 | 0.246 | 0.506 | 0.959 | 1.789 | - | st 11 | - | 2.982 | 4.069 | 4.727 | 5.165 | 5.472 | 5.693 | 5.945 | 5.952 | 6.025 | 6.049 | 5.846 |
| st 12 | 0.007 | 0.083 | 0.227 | 0.491 | 0.959 | 1.826 | - | st 12 | - | 3.026 | 4.066 | 4.703 | 5.133 | 5.44 | 5.664 | 5.92 | 5.927 | 6.002 | 6.042 | 5.855 |
| st 13 | 0.001 | 0.078 | 0.229 | 0.516 | 1.031 | 1.987 | - | st 13 | 0 | 2.958 | 3.953 | 4.578 | 5.01 | 5.323 | 5.554 | 5.822 | 5.829 | 5.922 | 6.006 | 5.858 |
| st 14 | 0 | 0.085 | 0.282 | 0.683 | 1.377 | 2.648 | - | st 14 | 0 | 2.621 | 3.517 | 4.133 | 4.582 | 4.917 | 5.171 | 5.481 | 5.491 | 5.645 | 5.848 | 5.835 |
| st 15 | 0 | 0.114 | 0.487 | 1.333 | 2.633 | 5.274 | - | st 15 | 0 | 2.022 | 2.663 | 3.157 | 3.576 | 3.92 | 4.197 | 4.588 | 4.604 | 4.898 | 5.316 | 5.683 |
| st 16 | 0 | 0.197 | 1.217 | 3.066 | 5.285 | 6.903 | - | st 16 | 0 | 1.465 | 1.869 | 2.163 | 2.446 | 2.718 | 2.969 | 3.408 | 3.429 | 3.851 | 4.418 | 4.892 |
| st 16.5 | 0 | 0.3 | 2.023 | 4.281 | 6.119 | - | - | st 16.5 | 0 | 1.218 | 1.545 | 1.771 | 1.99 | 2.214 | 2.438 | 2.875 | 2.897 | 3.342 | 3.924 | 4.408 |
| st 17 | 0 | 0.524 | 3.049 | 5.272 | 6.899 | - | - | st 17 | 0 | 0.983 | 1.252 | 1.434 | 1.606 | 1.788 | 1.981 | 2.395 | 2.417 | 2.858 | 3.422 | 3.895 |
| st 17.5 | 0 | 1.071 | 4.158 | 6.16 | 7.733 | - | - | st 17.5 | 0 | 0.757 | 0.976 | 1.125 | 1.26 | 1.405 | 1.564 | 1.935 | 1.955 | 2.374 | 2.906 | 3.355 |
| st 18 | 0 | 2.303 | 5.257 | 7.091 | - | - | - | st 18 | 0 | 0.543 | 0.713 | 0.831 | 0.935 | 1.045 | 1.169 | 1.481 | 1.499 | 1.883 | 2.374 | 2.791 |
| st 18.5 | 0 | 3.862 | 6.326 | 8.126 | - | - | - | st 18.5 | 0 | 0.347 | 0.465 | 0.551 | 0.627 | 0.706 | 0.797 | 1.04 | 1.055 | 1.392 | 1.837 | 2.216 |
| st 19 | 0 | 5.264 | 7.474 | - | - | - | - | st 19 | 0 | 0.172 | 0.239 | 0.293 | 0.342 | 0.394 | 0.454 | 0.624 | 0.635 | 0.906 | 1.297 | 1.637 |
| st 19.5 | 0.27 | 6.64 | - | - | - | - | - | st 19.5 | - | 0.02 | 0.055 | 0.084 | 0.111 | 0.139 | 0.171 | 0.265 | 0.271 | 0.444 | 0.748 | 1.042 |
| FP | 4.054 | 8.283 | - | - | - | - | - | FP | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.118 | 0.244 | 0.413 |

PRINCIPAL DIMENSIONS

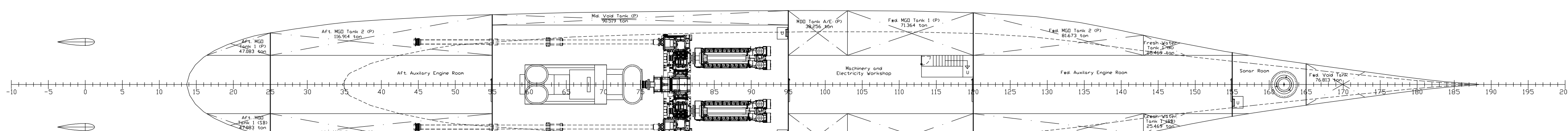
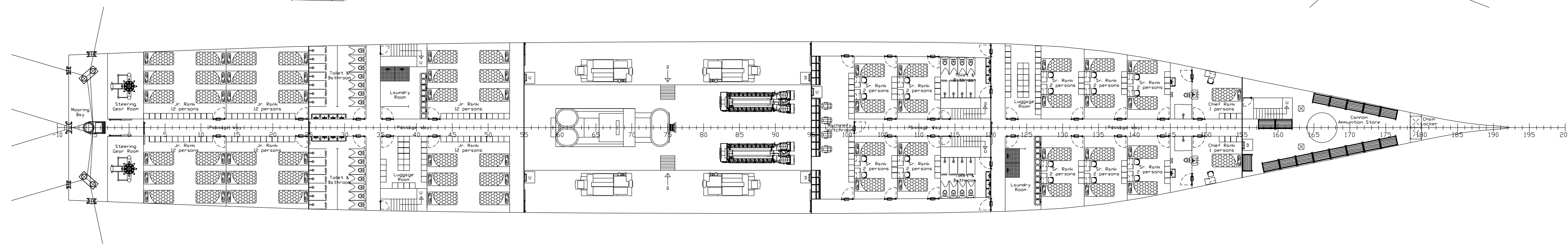
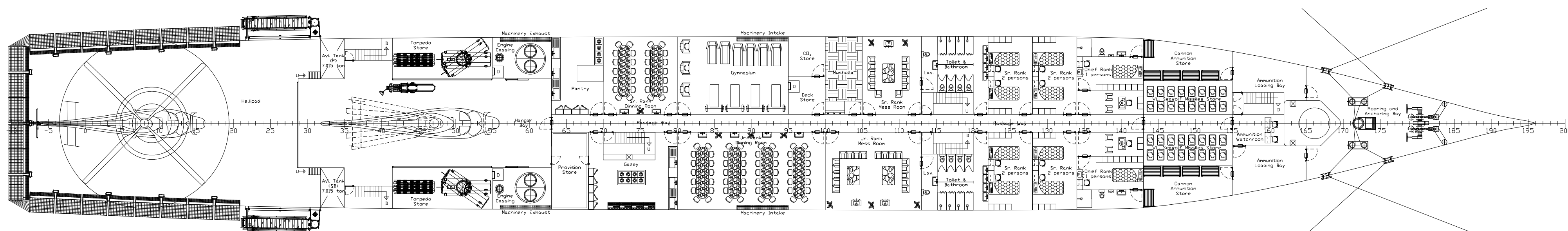
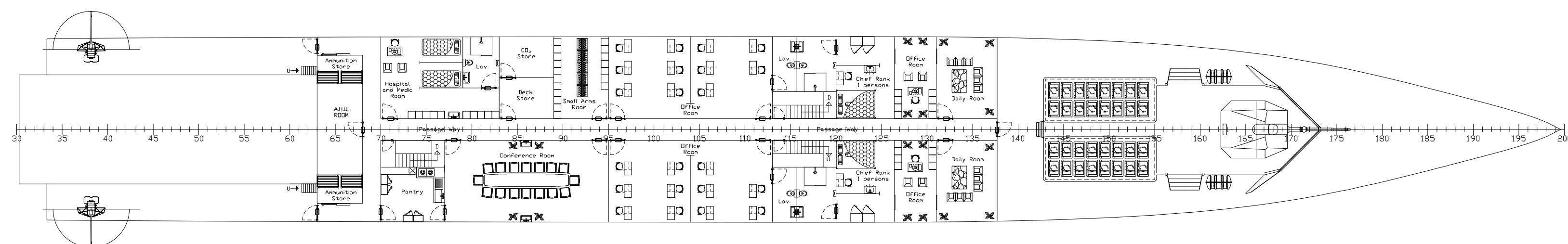
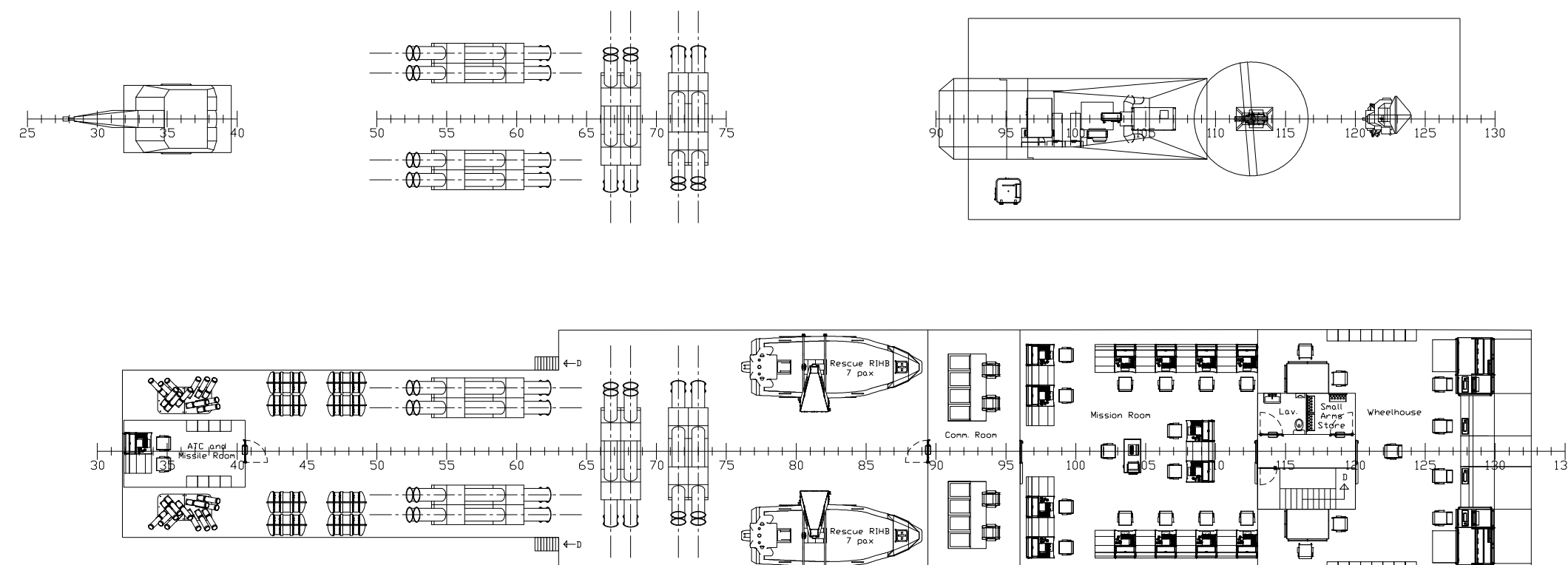
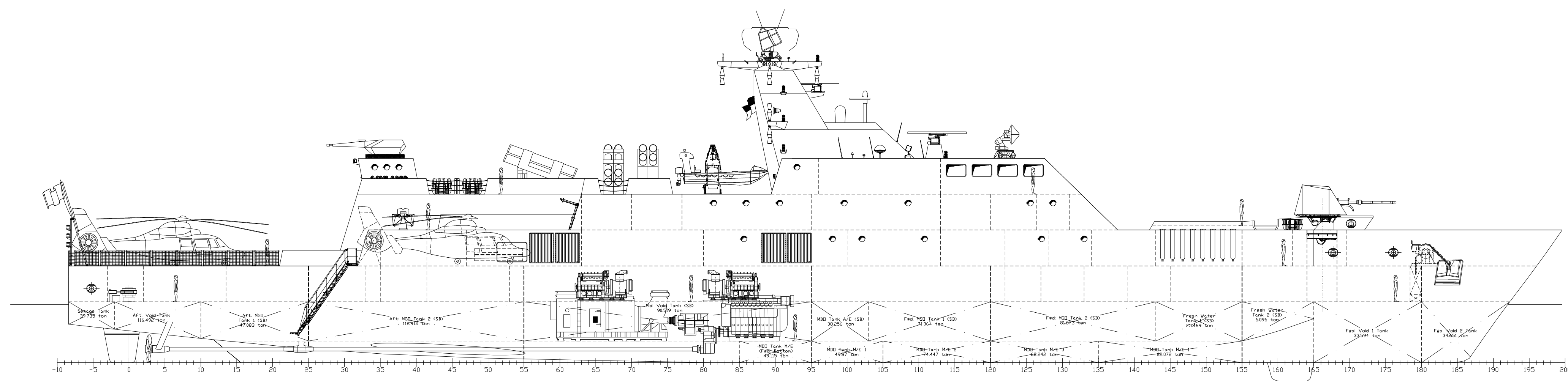
| | |
|------------------------------|------------|
| SHIP TYPE | : FRIGATE |
| LENGTH OVER ALL | : 104.00 M |
| LENGTH BETWEEN PERPENDICULAR | : 96.06 M |
| MOULDED BREADTH | : 12.01 M |
| MOULDED DEPTH | : 6.74 M |
| MOULDED DRAUGHT | : 4.05 M |
| BLOCK COEFFICIENT | : 0.523 |
| DESIGNED SERVICE SPEED | : 30 KNOTS |

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

2600 TON
MULTI ROLE LIGHT FRIGATE


LINES PLAN

| | | | |
|---|-----------|------------|-------------------------|
| SCALE : 1 : 150 | SIGNATURE | DATE | NOTES |
| DRAWN BY : Arya Javendra Satriananda | | 16-04-2015 | |
| APPROVED BY : Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D. | | | Reg. No.: 41-11-100-056 |



PRINCIPAL DIMENSIONS

| | | |
|------------------------------|---|----------|
| SHIP TYPE | : | FRIGATE |
| LENGTH OVER ALL | : | 104.00 M |
| LENGTH BETWEEN PERPENDICULAR | : | 96.06 M |
| MOULDED BREADTH | : | 12.01 M |
| MOULDED DEPTH | : | 6.74 M |
| MOULDED DRAUGHT | : | 4.05 M |
| BLOCK COEFFICIENT | : | 0.523 |
| DESIGNED SERVICE SPEED | : | 30 KNOTS |

| | | | | |
|---|---|-----------|------------|------------------------|
|  <p>ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember</p> | <p align="center">DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE</p> <p align="center">FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY</p> <p align="center">SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY</p> | | | |
| | <p align="center">2600 TON</p> <p align="center">MULTI ROLE LIGHT FRIGATE</p> | | | |
| <p align="center">GENERAL ARRANGEMENT</p> | | | | |
| SCALE | : 1 : 200 | SIGNATURE | DATE | NOTES |
| DRAWN BY | : Arya Javendra Satriananda | | 16-04-2015 | |
| APPROVED BY | : Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D. | | | Reg. No: 41-11-100-056 |



ARYA JAVENDRA SATRIANANDA, terlahir sebagai anak sulung dalam keluarganya pada 23 April 1993 di kota Magetan. Penulis dibesarkan di kota pahlawan yaitu Surabaya yang juga sebagai tempat dimana penulis menamatkan pendidikan dasarnya. Pada tahun 2008, penulis lulus dari SMPN 3 Surabaya, dimana penulis menjabat sebagai anggota Majelis Perwakilan Kelas (MPK) untuk periode 2007-2008. Kemudian penulis melanjutkan pendidikannya di SMAN 5 Surabaya dan lulus pada tahun 2011 yang merupakan salah satu Sekolah Menengah Atas (SMA) unggulan di kota ini.

Semasa menempuh pendidikan sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, penulis aktif dalam berbagai kegiatan kemahasiswaan baik akademik hingga non-akademik. Kecintaan penulis akan desain kapal, membuatnya bergabung dengan *hydromodeling club* di jurusan ini bersama para mahasiswa lainnya. Hal inilah yang mengantarkan penulis meraih Juara 1 *Boat Race* dan peraih *Best Design* pada ajang Kontes Kapal Cepat Tak Berawak Nasional (KKCTBN) yang diselenggarakan DIKTI tahun 2012. Prestasi yang sama diraih pula oleh penulis pada penyelenggaraan kegiatan yang sama di tahun berikutnya yaitu 2013. Penulis juga telah mengikuti beberapa pelatihan diantaranya; LKMM Pra-TD dan LKMM TD yang diadakan oleh BEM Fakultas Teknologi Kelautan ITS, dan pelatihan-pelatihan yang diadakan Jurusan Teknik Perkapalan seperti *Autocad Intermediate Course*, *ANSYS AQWA Course* dan *Maxsurf Modelling Course*. Tak hanya itu, di sisi lain dia juga banyak berkontribusi pada organisasi kampus. Terlihat dari pencapaiannya yaitu; staff acara Semarak Mahasiswa Perkapalan 6 (SAMPAN 6) pada 2011-2012, *Steering Committee* (SC) sub-acara NASDARC pada Semarak Mahasiswa Perkapalan 8 (SAMPAN 8) pada 2013-2014, staff Departmen Hubungan Luar Himpunan Mahasiswa Teknik Perkapalan (HIMATEKPAL) ITS pada 2012-2013, staff Departmen Hubungan Luar Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknologi Kelautan (BEM FTK) pada tahun 2012-2013, dan menjadi salah satu *Steering Committee* (SC) Pengkaderan HIMATEKPAL ITS pada 2013-2014. Pada pertengahan tahun 2014, penulis juga telah menyelesaikan Kerja Praktik pertama di PT. PAL Indonesia (PERSERO) di Surabaya, Jawa Timur dan Kerja Praktik kedua di Lloyd's Register Asia cabang Jakarta, Indonesia.

Akhir kata, melalui Tugas Akhir ini dengan judul **“STUDI PENGEMBANGAN DESAIN KAPAL FRIGATE JENIS MRLF SEBAGAI INFRASTRUKTUR PERTAHANAN LAUT KHUSUSNYA WILAYAH PERAIRAN NATUNA”**, penulis menyelesaikan masa perkuliahannya dan mengantarkannya menjadi Sarjana-1 Teknik Perkapalan ITS.

Being succeed is not a kind of simple ways. There are obstacles to struggle and sometimes it need the favor from someone else. They may be a blessing and need to be appreciated, because they are one of the reasons those obstacles cannot solved without. So don't bite the hand that feeds on you.

Contact Person = arya.javendra@gmail.com (+62 8123 148 9003)